

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE QUÍMICA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería
Ambiental

**“Manejo de residuos en el Proyecto Trópika como alternativa sostenible para la
construcción en Costa Rica”**

Daylin Alejandra Vega Mojica

Cartago, Enero 2015.



HOJA DE FIRMAS

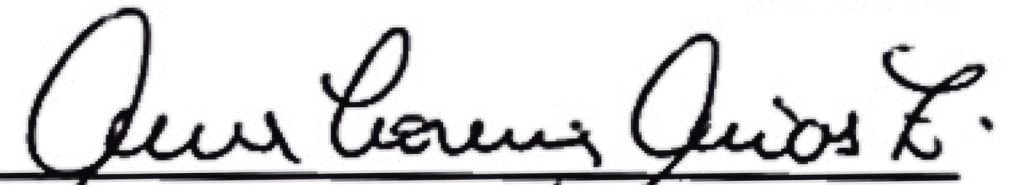
“Manejo de residuos en el Proyecto Trópika como alternativa sostenible para la construcción en Costa Rica”

Informe presentado a la Escuela de Química del Instituto Tecnológico de Costa Rica como requisito parcial para optar por el título de Ingeniero Ambiental con el grado de licenciatura

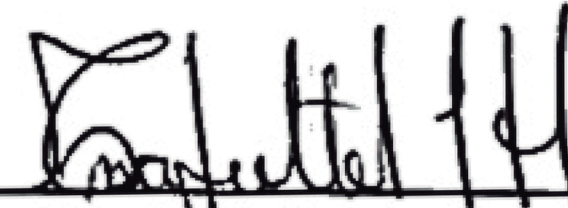
Miembros del tribunal




Msc. Ing. Jorge Calvo Gutiérrez.
Director



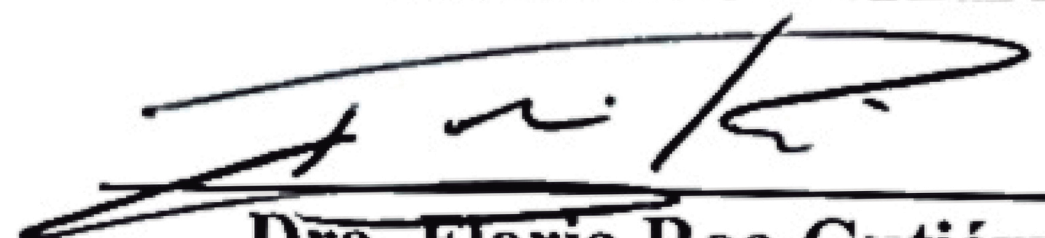
Msc. Ing. Ana Lorena Arias Zúñiga.
Lector 1



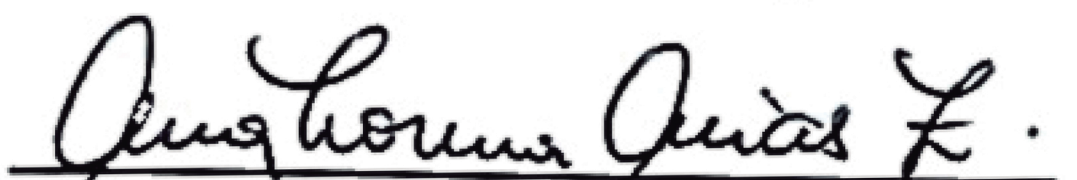
Msc. Ing. Ana Grettel Leandro Hernández.
Lector 2



Dr. Luis Guillermo Romero.
Director COTRAFIG



Dra. Floría Roa Gutiérrez
Directora Escuela de Química



Msc. Ing. Ana Lorena Arias Zúñiga.
Coordinadora Carrera de Ingeniería Ambiental

DEDICATORIA

Para mis dos padres en el cielo, y a mis motores de lucha en la tierra: mi mamá y mi abuela.

AGRADECIMIENTOS

A mi mamá por siempre estar ahí a pesar de la distancia, y por sus palabras de apoyo.

A los profesores del ITCR que repercutieron en mi formación profesional y personal. Especialmente a quienes estos últimos dos años me ayudaron muy de cerca con observaciones del trabajo para la competencia del Solar Decathlon, a los profesores Ana Lorena Arias, Macario Pino y Jorge Calvo, mi tutor, por siempre apoyarme durante este largo proceso de tesis y también previo a la competencia.

A los amigos que me apoyaron durante este proceso. Tanto a amigos del TEC, UCR, como quienes me siguen acompañando a pesar de habernos conocido a tan corta edad.

A Juan Carlos Martí, Bryan Navarro y Silvia Solano, por confiar en mi desde un inicio, al entrar a en el TEC Team. También a todo el equipo de trabajo que formó parte el desarrollo de Trópika. En especial a Adolfo Marín, y a quienes corrieron con los permisos para poder competir en Francia.

A Mario Vargas, por su apoyo incondicional, tanto para el desarrollo de este proyecto dándome nexos de personas que aportaron con su conocimiento a este proyecto, así como por su ayuda durante la construcción del módulo de la casa pareciendo un decatleta más y animarme en momentos de aflicción. Y a los profesores Ana Grettel Leandro y Mauricio Araya, por su apoyo y ayuda desinteresada.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos	3
1.1.1. Objetivo General	3
1.1.2 Objetivos Específicos.....	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 Competencia Solar Decathlon Europe 2014 (SDE-14).....	4
2.2 Contexto de Sostenibilidad en Costa Rica.....	5
2.3 Impacto de la construcción en el Ambiente	6
2.4 Impacto de los residuos en el sector construcción	6
2.5 Construcción Sostenible.....	7
2.6 Estrategias de Construcción Sostenible.....	8
2.6.1 Jerarquía de Residuos y Materiales Verdes.....	8
2.6.2 Gestión eficaz de los residuos	9
2.6.3 Marco Legal	10
2.6.4 Planes de Manejo de Residuos Sólidos	12
2.6.6 “Incentivos Financieros”	15
2.7 Propuesta Trópika.....	16
3. METODOLOGÍA	20
3.1. Lineamientos del manejo de residuos	22
3.2. Determinación de los residuos generados	23
3.3 Comparación de residuos del módulo Trópika con los residuos de una casa convencional	24
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
4.1 Lineamientos del manejo de residuos sólidos de la construcción en su generación, el almacenamiento en el sitio y la disposición final.	26
4.1.1. Almacenamiento en sitio	26
4.1.2 Separación de residuos.....	28
4.1.3. Disposición final.....	29
4.1.4 Modificaciones de acuerdo al planteamiento inicial del PMRS.	30
4.1.5. Aspectos relevantes para el manejo de los residuos.	31

4.2 Generación de residuos en la construcción del módulo de Trópika	34
4.2.1 Estrategias ante dificultades para disminuir los residuos.	36
4.3. Comparación con residuos de casa convencional en Costa Rica	37
4.4 Proyección de residuos para solución habitacional de proyecto Trópika	38
4.4.1 Panorama del proyecto habitacional vertical	38
4.4.2 Proyección de residuos	38
5. CONCLUSIONES.....	42
6. RECOMENDACIONES.....	45
7. REFERENCIAS	48
APÉNDICES.....	52
Apéndice 1. Plan de manejo de residuos para la construcción del módulo de trópika	52
ANEXOS	59
Anexo 1. Registro fotográfico.....	59
Anexo 2. Distribución del sitio del proyecto trópika	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Distribución en planta de los apartamentos en el Proyecto Trópika	20.
Figura 3.1: Esquema metodológico del proyecto.	22.
Figura 4.1: Baterías de residuos en la construcción del módulo de Trópika	28.
Figura 4.2: Distribución porcentual de residuos el módulo de Trópika.	36.

LISTA DE CUADROS

Cuadro 3.1: Planeamiento de la gestión de los residuos en obra.....	23.
Cuadro 4.1: Actividades por proceso de manipulación de residuos.....	29.
Cuadro 4.2: Manipulación de materiales para el acopio de residuos	30.
Cuadro 4.3: Disposición final de materiales de la construcción.....	25.
Cuadro 4.4: Cantidad de residuos generados en kilogramos por materiales del módulo de la casa.	30.
Cuadro 4.5: Proyección de residuos por m ² para apartamentos de una y dos habitaciones por piso.	38.
Cuadro 4.6: Estimación de residuos para solución habitacional a escala vertical.....	41.

LISTA DE ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

CIVCO:	Centro de Investigación en Vivienda y Construcción del ITCR.
CIIBI:	Centro de Investigación en Integración Bosque Industria del ITCR.
CTTM:	Centro de transferencia y transformación de materiales.
FSC:	Forest Stewardship Council.
IAT:	Instituto de Arquitectura Tropical.
INA:	Instituto Nacional de Aprendizaje.
INTECO:	El Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica.
ITCR:	Instituto Tecnológico de Costa Rica.
LEED:	Leadership in Energy and Environmental Design.
MADI:	Programa de Manejo de Desechos Institucional del ITCR.
MINAET:	Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones.
ONU:	Organización de las Naciones Unidas.
OSHA:	Occupational Safety and Health Administration.
PMRS:	Plan de Manejo de Residuos Sólidos.
PRESOL:	Plan de Residuos Sólidos.
RC:	Residuos de construcción.
RESET:	Requisitos para Edificaciones Sostenibles en el Trópico.
SDE:	Solar Decathlon Europe.
SMM:	Sustainable Materials Management.
USGBC:	U.S. Green Building Council. (Consejo de Edificación Verde de EE.UU.).

RESUMEN

En Costa Rica, la mayoría de los residuos de la construcción, se depositan en escombreras o rellenos sanitarios, los cuales son escasos y hasta insuficientes. Al aplicar la jerarquía de los residuos en un proceso constructivo, se pretende disminuir la cantidad de residuos que contemplen ese escenario. El manejo de los residuos es una de las áreas más críticas dentro de la realización de una obra constructiva, por lo cual, por medio de este trabajo, se desarrolló una metodología aplicada a los residuos generados en la construcción del proyecto Trópika para considerarla una construcción sostenible. En la construcción del módulo casa Trópika se establecieron lineamientos del manejo de residuos en su planeamiento, contemplando el almacenamiento de estos en el sitio y su disposición final. Se colocaron en el sitio de construcción seis recipientes rotulados para separar materiales, los cuales una vez llenos, se guardaba su contenido en bolsas dentro del taller de maderas del Tecnológico Costa Rica, hasta tener material suficiente no reutilizable en el sitio, para proceder a su transporte y cuantificación. El lugar donde se transportaban, en su mayoría, los residuos para su disposición final, fue el centro de acopio del MADI, en las instalaciones del Tecnológico. Ya sea en co-procesamiento, aprovechamiento en el CTTM o, el relleno sanitario, según el tipo de material. Se generó la documentación de tipos y cantidades de residuos generados en la construcción del módulo y algunos residuos misceláneos se compararon con otras construcciones, una en forma teórica y en otra con una visita al finalizar la construcción de la casa, se calculó un índice de generación de residuos, estimándose que en el caso de Trópika el índice para todos los residuos fue de $6,44 \text{ kg/m}^2$. Basándose en estos datos, se estimó en total que se producirán un total de 21,5 toneladas de residuos sólidos por parte de Trópika, en una propuesta habitacional en escala vertical, de ahí se retroalimentó y establece la mejora en la estrategia del manejo de residuos, para así disminuirlos en la construcción de Trópika a gran escala. Se caracterizaron los residuos y se documentó esta información clasificándola en tipo y cantidad.

Palabras clave

Construcción, Residuos de Construcción, Sostenibilidad, Trópika, TEC Team.

ABSTRACT

In Costa Rica the majority of construction waste, is deposited in slag heaps or landfills, which are scarce and even insufficients. When applying the waste hierarchy in a constructive process, is to reduce the amount of waste that contemplate that scenario. The waste management is one of the most critical areas in making a constructive work, therefore, through this work, a methodology applied to waste generated in construction Tropika project was developed to consider sustainable construction. In building the module “Tropika” house waste management guidelines in their planning were established considering storing these on the site and disposal.

At the construction site six tanks labeled recyclable waste is placed, these once filled, its contents in bags inside the timber at Sawmill Technological Institute Costa Rican was kept, until you have enough to full a truck and take it even material, however some of these residues were reused on site. The place was left mostly waste for disposal, was the accumulation center MADI, at the Technological. Whether in co-processing, reuse on CTTM or landfill, by type of material. Documentation of types and quantities of waste generated in the construction of the module and some miscellaneous waste generated compared to other constructions, a theoretically and another with a visit to the construction finally of the house, a generation rate was calculated waste estimated that the index waste generation for the module was 6,44 kg/m². And with that data estimate the producing 21,5 tons of solid waste Tropika housing project as proposed in scale dwelling was planned, there was fed and sets improvement in waste management strategy, in order to reduce them to build Tropika in dwelling buildings. The residues were characterized and classifying this information on type and quantity documented.

Keywords: Construction, Construction Waste, Sustainability, Trópika, TEC Team.

1. INTRODUCCIÓN

Por su naturaleza, la construcción incluye el manejo de grandes cantidades de materiales y energía. De acuerdo con el Plan de Residuos Sólidos (PRESOL, 2007) para Costa Rica, la industria de la construcción es muy importante para el país, sin embargo, consume gran cantidad de recursos, y es uno de los principales generadores de residuos sólidos, generando un impacto negativo al ambiente. El cual se debe principalmente al alto volumen de residuos y su disposición final, ya que muchos residuos son desechados en sitios no aptos para ello (Poveda, 2008).

Para el primer semestre de 2014, la construcción habitacional representó el 27,13% de los 4.247.534,00 m² construidos en el país, y en el año 2013 significó un 40,86% del total de la infraestructura del país, según datos del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA, 2014). La mayoría de los residuos de la construcción se depositan en escombreras o rellenos sanitarios, estos últimos son ya escasos e incluso insuficientes en Costa Rica dado el problema generado por los residuos sólidos convencionales (PRESOL, 2007). Mientras que el reciclaje es generalizado, a pesar de ser una necesidad que entre otros, proporciona oportunidades de ahorro, de materias primas y transporte; el reciclaje es una prioridad para la construcción sostenible en conjunto con el ahorro de recursos de explotación (Poveda, 2008).

A los problemas de falta de infraestructura para el tratamiento de estos residuos especiales y la necesidad de una legislación nacional más estricta, para el tratamiento de estos, se suman prácticas constructivas tales como que por lo general se estima hasta un 15% de material de más, que si no es manipulado adecuadamente se puede convertir en desecho. Y desde el que realiza el presupuesto en la construcción hasta el maestro de obras prefieren la solvencia de materiales en el sitio (Segura, 2012).

La consciencia de una buena gestión de residuos de la construcción no ha permeado en países en desarrollo, como Costa Rica, ya que los desechos de la construcción aún no son una

prioridad en los procesos constructivos e, incluso, muchas constructoras terminan aportando a la problemática en la disposición final de los residuos sólidos del país (Nugroho, 2013).

Los esfuerzos hacia la construcción sostenible son poco conocidos en Costa Rica (Quirós, 2011), pero se continúan haciendo esfuerzos como en este caso el proyecto Trópika. La intención con este proyecto es dar a conocer los avances que se pueden implementar en el manejo de residuos en las construcciones, iniciando a comprobar la aplicación del Plan de Manejo de Residuos Sólidos en el módulo casa Trópika, para brindar mejoras en la construcción del proyecto a mayor escala residencial.

El proyecto se realiza en el marco de la construcción, de un módulo para la competencia interuniversitaria *Solar Decathlon Europe 2014*, que evalúa la aplicación de los conceptos de arquitectura y construcción sostenibles, entre ellos, el manejo adecuado de los desechos. En ella, cada equipo debe construir un prototipo modular de lo que sería una de las viviendas, pertenecientes a la propuesta habitacional en escala residencial. La propuesta “Trópika” es para el contexto costarricense, y el módulo se ha construido en las instalaciones del Tecnológico para la competencia en Francia.

El problema que se pretende abarcar en este estudio es el manejo de los materiales y cantidad de los residuos generados en las construcciones. La metodología aplicada identifica algunos ajustes necesarios, que serían requeridos en el planeamiento de construir “Trópika” a escala vertical en San José.

De esta manera, se busca replicar las acciones en pro de mejorar la separación, manipulación, transporte y disposición final de estos residuos de la construcción, con fines como provocar cambios de consciencia en la forma de gestionar los residuos para las construcciones y un mejor papel en la competencia, con el módulo.

1.1 Objetivos

1.1.1. Objetivo General

Desarrollar una metodología aplicada a los residuos sólidos generados en la construcción del Proyecto Trópika del TEC Team, para considerarla dentro de una construcción sostenible.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Establecer lineamientos del manejo de residuos sólidos de la construcción del módulo casa Trópika, que contemple su generación, el almacenamiento en el sitio y la disposición final.
- Generar la información sobre la composición de residuos en el proceso constructivo del prototipo modular casa Trópika, propuesto por el TEC Team.
- Comparar el índice de generación de desperdicios del módulo Trópika con el de otras dos construcciones.
- Proyectar la producción de residuos sólidos para la solución habitacional a escala vertical llamada Proyecto Trópika.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Competencia Solar Decathlon Europe 2014 (SDE-14).

En 1999, el Departamento de Energía del gobierno de los Estados Unidos creó en su Departamento, el Decatlón Solar (U.S. Department of Energy Solar Decathlon); a partir de ahí, para el año 2002, se realizó la primera competición de casas solares entre Universidades, que posteriormente se convirtió en la más prestigiosa a nivel Internacional. En el año 2010, llega por primera vez a Europa, se desarrolla esa edición en España y, dos años después, se desarrolla otra edición también en el mismo país; para el año 2014, la competencia se realiza por primera vez en Francia (US Department of Energy, 2014).

La competición universitaria internacional impulsa el desarrollo de viviendas eficientes y sostenibles, esto con el fin de que los equipos participantes desarrollen un diseño y construcción de casa, el cual tenga un consumo bajo de recursos naturales y produzca un mínimo de residuos durante su ciclo de vida. Los equipos se enfrentan a los retos de la edificación, ya que se debe proponer una solución habitacional para un sitio en el contexto del país participante y desarrollar un módulo de la propuesta para construirse en diez días durante la competición (US Department of Energy, 2014).

A finales del año 2012, un grupo de estudiantes del Instituto Tecnológico de Costa Rica envió una propuesta de proyecto para desarrollarse en el contexto de Costa Rica, esta propuesta fue seleccionada dentro de las mejores veinte, para competir en el Solar Decathlon Europe 2014 (SDE-14) en Francia. La propuesta contextualizaba el escenario que debe afrontar Costa Rica al ser un país con una creciente población adulta mayor, la cual para el año 2008 era del 6% y se prevé que para el 2020 sea del 12%, por lo que satisfacer las necesidades de esta población es de gran importancia (Robles & Rodríguez, 2008).

Dentro de ese marco, una de las mayores necesidades es la habitacional, dado que el sitio donde habite el adulto mayor debe ser acorde a sus demandas. Además, se requieren de zonas

de esparcimiento para el desenvolvimiento de la persona, zonas verdes y que la propuesta sea confortable para cuando la persona se retire (ONU, 2007).

La evaluación en sostenibilidad, por parte de la competencia consiste en: La aplicación del concepto de sostenibilidad en el contexto del país o ciudad a desarrollarse la solución habitacional, estrategias bioclimáticas contempladas en el diseño de la propuesta, gestión del agua, manejo de residuos para la construcción y uso de viviendas, uso de materiales con bajo impacto, análisis de ciclo de vida para el prototipo construido en competencia, facilidades de aprovechamiento de la energía solar, tipo de equipo a emplearse en las viviendas, y las opciones de transporte en el diseño urbano de la propuesta integral (Solar Decathlon Europe & République française, 2014).

2.2 Contexto de Sostenibilidad en Costa Rica

Costa Rica ha desarrollado, bajo la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC), una serie de medidas tales como: la reforestación, una ruta de desarrollo energético limpio y el aumento en la capacidad del país para la mejora de reservas de carbono fijado; todo esto en la búsqueda del equilibrio del clima mundial (MINAET, 2009).

La ENCC es base para la meta de Costa Rica de lograr la Carbono Neutralidad (C-Neutral) para el 2021, esa estrategia en sus ejes contempla la adaptación de sectores grandes del país, la sensibilización pública y desarrollar un sistema de métricas precisas. En el país, se ha venido trabajando en las medidas de adaptación, mitigación y métrica, dónde una de las áreas de trabajo es en la reducción y manejo de residuos y desechos (MINAET, 2009).

El desarrollo de Costa Rica, desde hace décadas pretende ir por la vía del Desarrollo Sostenible (MINAET, 2009), las políticas de sostenibilidad que se necesitan en el país para un mayor progreso son: inversiones en transporte más eficiente y ecológico, inversión en energías más limpias para generación eléctrica, disminución de las emisiones que generan el actual manejo de los residuos sólidos (Granados, 2013).

2.3 Impacto de la construcción en el Ambiente

La industria de la construcción tiene gran importancia por su aporte al desarrollo, pero por otra parte provoca impacto al ambiente. Debido a esto, existen preocupaciones dada la cantidad y volumen de desechos que se generan de las actividades, tanto de construcción como de demolición (Leandro, 2007).

El manejo inadecuado de los residuos durante la construcción causa una amplia gama de problemas ambientales, entre ellos están: el impacto a las aguas, contaminación sónica y del aire, problemas en la salud a largo plazo y constantes vertidos ilícitos de materiales (Yuan, 2013b).

Los impactos ambientales en el contexto de la construcción, de los anteriores, se vincula que la contaminación del agua, puede ser por disolventes y vertidos ilegales, que afectan las aguas subterráneas. Por otra parte, los niveles de ruido se dan por maquinaria en uso y sustancias que depositan emisiones en la atmósfera, tales como los polvos de los componentes inertes de tierra y áridos que componen gran parte de los materiales de construcción (Leandro, 2007). También problemas en la salud, los cuales se dan a largo plazo, debido a riesgos durante los trabajos por sustancias tóxicas presentes en el sitio, las mismas, en pequeñas dosis afectan gradualmente a la salud. Se identifica que los vertederos ilegales afectan a la salud pública e incluso de forma más negativa, al arrojar sustancias peligrosas al ambiente y los latentes riesgos de incendio (Yuan, 2013b).

2.4 Impacto de los residuos en el sector construcción

En el sector de infraestructura, el 40% de los recursos naturales del mundo son utilizados en la construcción de edificios y producen el 70% de los residuos por construcción, renovación y derribo de edificios, con una tasa de reciclaje menor al 1% (MINAET, 2009). Los residuos de la construcción son un desperdicio de recursos naturales que en algún momento fueron explotados (Wang, Li, & Tam, 2014).

El residuo de la construcción es la acumulación más homogénea de material de la industria de la construcción (Tchobanoglous et al., 1994; citado por (Muñoz, 2011)), se les denomina Residuos de Construcción (RC). Este se puede generar en una obra de construcción o en su demolición (también conocida como deconstrucción). Por lo general, el mayor volumen es por escombros de concreto, le siguen la madera y productos misceláneos, estos últimos son metales, acero, vidrios, tuberías, aislamientos, partes eléctricas ((UICN, 2011) citado por (Agudelo & Rodríguez, 2013)). Los tipos de residuos que se generan son de acuerdo con la etapa de generación del proyecto, estas pueden ser: estructura, acabado y subcontratos (UICN, 2011).

Los residuos de la construcción comprenden con frecuencia entre el 10% y el 30% de los residuos recibidos en muchos vertederos de todo el mundo ((McGarth & Anderson , 2000) citado por (Begum, Siwar, Pereira, & Jaafar, 2009)). Esos sitios de disposición final provoca problemas en el agua, aire, suelos, producción de CO₂ y metano por condiciones anaeróbicas. Así pues, por los volúmenes que se manejan, trae una tremenda presión sobre el espacio restringido en los vertederos (Wang et al., 2014; Yuan, 2013b).

La industria de la construcción en el país requiere de una gran explotación de recursos naturales debido a la alta demanda, además es uno de los principales generadores de residuos sólidos que son desechados en sitios no aptos para ello (PRESOL, 2007). De acuerdo con una investigación realizada por la investigado Liliana Abarca, los índices de generación de residuos por área construida, se encuentran en el rango de 7-162 kg/m² (Abarca, 2014). El sector construcción, de acuerdo con el Estado de la Nación y datos de la Cámara Costarricense de la Construcción, crece y es parte del desarrollo del país (Poveda, 2008). Es por esto que se debe poner en práctica los conceptos de Construcción Sostenible.

2.5 Construcción Sostenible

Construcción sostenible es el proceso que ofrece un servicio de aportar al desarrollo en forma sostenible, contribuyendo de forma responsable (Quirós, 2011). A este tipo de construcción

la apoyan normas como Requisitos para Edificaciones Sostenibles en el Trópico (RESET) en el trópico (costarricense) y es certificable por Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental ® (LEED, por sus siglas en inglés), esta es una de las primeras certificaciones de construcción sostenible realizadas en Estados Unidos, ambas incluyen su respectivo capítulo de materiales en el que se refieren a la necesidad de establecer un manejo de los desechos a través de un planeamiento anterior a la obra (CFIA, INTECO, & IAT, 2012) (USGBC, 2009).

LEED es una certificación que el Consejo de Edificación Verde de EE.UU. en el año 1998 lanzó para evaluar las construcciones “verdes”. Existen categorías para ser certificadas, y una de ellas es LEED para viviendas (LEED for homes, por su nombre en inglés). En esta categoría se evalúan los proyectos a través de los aspectos tales como: innovación en el diseño, sitios sostenibles, eficiencia en el consumo de agua, uso, reuso y sistema de irrigación, energía y atmósfera, materiales y recursos, y calidad del ambiente interior (USGBC, 2009). La última versión de LEED fue lanzada en noviembre 2013, y es la cuarta versión (U.S. Green Building Council, 2012-2014). Por lo cual la versión utilizada en este proyecto es la anterior, decir, la tercer edición.

Considerando las particularidades del país y la necesidad de contar con una herramienta adaptada al trópico, el Instituto de Normas Técnicas (INTECO), el Instituto de Arquitectura Tropical (IAT) y el Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos (CFIA) desarrollaron la norma RESET, la cual evalúa las decisiones de diseño, construcción, y operación de una edificación en el trópico, para considerar si puede ser clasificado como construcción sostenible un proyecto. RESET evalúa los aspectos como: socioeconómico, entorno y transporte, calidad y bienestar, suelos y paisajismo, materiales, uso eficiente del agua y eficiencia energética.

2.6 Estrategias de Construcción Sostenible

2.6.1 Jerarquía de Residuos y Materiales Verdes

La jerarquía de residuos contempla primordialmente la reducción, reutilización y reciclaje de la mayoría de los residuos, y demuestra los componentes clave del Programa Sostenible de Gestión de Materiales (Sustainable Materials Management, SMM por sus siglas en inglés) de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) es un enfoque de sistemas, el cual se crea en la búsqueda por reducir el uso de materiales y sus impactos ambientales asociados durante todo su ciclo de vida (Leandro, 2007). La jerarquía de manejo de residuos consiste en reducir y reusar la mayor cantidad de material posible, luego reciclar y compostar, para así tener menos cantidad en residuos tratados, por transformarse en energía y, aún menos residuos por enviar al relleno sanitario. Al aplicar la jerarquía de los residuos, se reduce la cantidad de residuos por llevar al relleno sanitario, además de reducir el costo de transporte (EPA, 2013).

Los materiales verdes de construcción se sugiere reúnan los aspectos de ser eficientes energéticamente, sean reciclables y preferiblemente producidos con materiales reciclables, con reducido impacto en el ambiente y ciclo de vida largo. Entre varios aspectos que contempla la EPA con respecto a materiales verdes, es evitar el “greenwashing”, que se refiere al producto que dice ser amigable con el ambiente sin serlo, porque el fabricante hace afirmaciones del producto sin fundamento sobre los atributos ambientales (EPA, 2013). Por cuanto a EPA tiene una guía de compras preferibles para la construcción verde para consulta y evitar el greenwashing (National Institute of Building Sciences., 2014).

2.6.2 Gestión eficaz de los residuos

Una gestión eficaz de los residuos de construcción y demolición debe procurar mantener en forma integral la armonía del desarrollo sostenible en sus tres aspectos esenciales (económico, ambiental y social), la falta de promover cualquiera de los aspectos afectaría a su eficacia general (Yuan, 2013b). Sin embargo, en la mayoría de países en desarrollo no existe una gestión segura de los residuos, por recursos técnicos y financieros (Abdelhamid, 2014).

Se denomina gestión de los residuos a todas las acciones, estrategias y políticas establecidas en una organización, para prevenir y minimizar los impactos ambientales de la actividad que estén realizando (Leandro, 2007).

La inversión en la gestión de residuos está influenciada por: la necesidad de reglamentos de gestión de residuos, la adopción de tecnologías de construcción que generen escasos desechos, los impactos de costo de reducción de residuos y la gestión de residuos como cultura de una organización (Yuan, 2013b).

La inversión en gestión de residuos de la construcción, puede ayudar a promover prácticas que incluyen típicamente el empleo de trabajadores responsables de la recolección de residuos en el lugar, la compra de equipos y / o máquinas, así como el desarrollo e implementación de planes de manejo de residuos sólidos. Un contratista con experiencia previa en el manejo de residuos debe capacitar a los trabajadores en la adecuada recolección, manejo y separación de los residuos en la construcción, así también debe incluir la adquisición de equipo como el de trituración de residuos de concreto, esto motivando a los profesionales a minimizar y mejorar habilidades en operarios de la manipulación de los residuos a través de la formación profesional (Abdelhamid, 2014; Yuan, 2013b).

Los comportamientos y actitudes hacia la gestión de residuos son decisivos para atender y resolver problemas de residuos de la construcción, dado que el desempeño económico sigue siendo el principal objetivo mientras que los aspectos ambientales y sociales son de mucho menor prioridad (Begum et al., 2009). La gestión de residuos requiere de la colaboración de todos así como de la asignación de recursos para el manejo de estos recursos (Abdelhamid, 2014). Por ende, se debe aumentar la conciencia de los contratistas, ingenieros, arquitectos y trabajadores a través de la formación profesional en la gestión de residuos dentro de la industria de la construcción (Yuan, 2013a).

2.6.3 Marco Legal

La importancia de las regulaciones gubernamentales exhaustivas para apoyar la gestión de residuos ha sido ampliamente investigada. Los gobiernos desempeñan un papel crucial en la promoción de las buenas prácticas de gestión de residuos de construcción y demolición, mediante la aplicación de normas para el sector constructivo. Tal es el caso de la ciudad de Shenzhen de China, en la que la regulación gubernamental se identifica como el factor más importante en la gestión de residuos de construcción (Karavezyris (2007) citado por (Yuan, 2013b)).

Sin embargo, esos estudios han indicado que la eficacia de la aplicación de regulaciones gubernamentales es limitada para algunos gobiernos, según Tam (2008), el sistema obligatorio para el funcionamiento de planes de gestión de residuos en proyectos de construcción, reduce significativamente la productividad de las empresas (Yuan, 2013b).

En Europa, de acuerdo con una normativa del año 2006, los planes de gestión de residuos deben de ser elaborados por miembros estatales de la Unión Europea, como parte de los requisitos para la construcción, y de esta manera tener mayor regulación para empresas constructivas. De igual manera, varios países europeos desarrollan leyes específicas, para el establecimiento de un marco legal para los residuos de construcción y demolición, fomentando la prevención, reutilización y el reciclaje, asegurando que los residuos serán tratados adecuadamente (Rodríguez et al., 2007, mencionado en (Villoria Saez, del Río Merino, San-Antonio González, & Porras-Amores, 2013)).

En Costa Rica se requiere de legislación que mejore las prácticas de generación de residuos de construcción en la fuente, así como de instrumentos que permitan la medición de las pérdidas económicas causadas por esos residuos. El Estado de Massachusetts (EE.UU.), en el año 2010, prohibió llevar los residuos de construcción a rellenos sanitarios, lo cual obligó a reducir los residuos, disminuyendo así la problemática en la disposición final (Koch, 2010).

En Costa Rica, la Ley Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS) está en sus primeros años de vigencia y de acuerdo con ésta apenas se está en el marco regulatorio de los residuos ordinarios. Para el Manejo adecuado de Residuos Especiales como los de la construcción aún

se necesita mayor marco legal para la puesta en marcha de planes de manejo de residuos sólidos en las construcciones, ya que actualmente no son obligatorios, y se necesita que no sean sólo de forma voluntaria (Soto, 2012).

Además, la infraestructura necesaria para el tratamiento de residuos especiales, como se clasifica a los residuos de la construcción, a la fecha, no se ha promovido ni facilitado por parte del Ministerio de salud ni por los gobiernos locales (Gobierno de Costa Rica, 2010). Actualmente, algunos no cuentan con su propio Plan de Manejo de Residuos de acuerdo a como lo solicita la Ley GIRS, ni planes de ordenamiento territorial. Ello dificulta a construcciones nuevas al otorgarles los permisos de construcción, se les exija seguir lineamientos del manejo adecuado de residuos que aún no ha estipulados por la Municipalidad (Soto, 2012).

2.6.4 Planes de Manejo de Residuos Sólidos

En el planeamiento del proceso constructivo, se debe considerar un rubro para costos de la generación de residuos, y en Costa Rica esto se hace principalmente para el transporte de los residuos (Abarca, 2014). Son dos prácticas sostenibles, la estimación de costos para la construcción con la generación de residuos teniendo responsabilidad de dar una disposición final adecuada y el Plan de Manejo de Residuos Sólidos (PMRS) en la construcción. Estas dos prácticas deben relacionarse entre sí e incluir el ciclo de vida de los materiales (Abdelhamid, 2014).

Los Planes de Manejo de Residuos Sólidos se desarrollan durante la planificación de los trabajos de construcción. El presente documento describe procedimientos e instrucciones orientadas a dar un destino más ambientalmente adecuado a los residuos de construcción. El PMRS debe de incluir una descripción de las buenas prácticas (BP), la normativa vigente, las medidas de reutilización, valorización o eliminación final de los residuos y las descripciones relativas al almacenamiento, manipulación o cualquier otra operación de la gestión de los residuos que se lleva a cabo en el sitio de trabajo (Villoria Saez et al., 2013; (Leandro, 2007).

En muchos países del mundo el uso de un Plan de Manejo de Residuos Sólidos es nuevo, principalmente en los países en desarrollo (Garas, 2003) citado por Abdelhamid, M. 2014). Ya que a la fecha, en la gestión adecuada de residuos no se han tomado las decisiones correspondientes y sigue sin considerarse a los residuos una oportunidad de negocio.

El manejo de desechos (Waste Management) que solicita LEED, primeramente tiene prerequisites que se basan en la investigación de opciones locales para el manejo de residuos y reducción de residuos de la construcción y brinda créditos a la minimización por sinergias y asociaciones que disminuyen residuos en el vertedero. Luego se enfoca en verificar la reducción de residuos, ya sea por utilizar materiales prefabricados o a lo sumo comprar los materiales necesarios para la construcción (USGBC, 2009).

Como parte de la planificación debe contemplarse un diseño del espacio previamente planeado para los residuos, su recogida y selección, con la colocación temporal de instalaciones de clasificación y la implementación de la recolección de residuos en la obra. Un buen diseño del sitio podría aumentar las tasas de reutilización y reciclaje, y reducir el costo de transporte de los residuos (Poon et al. (2001) citado por (Yuan, 2013b)). Ya que en las zonas de trabajo se encuentra, por lo general, la condición de que el espacio para almacenamiento en el sitio es a veces insuficiente, dada el requerimiento de espacio por la obra (Abdelhamid, 2014).

2.6.5 Prácticas sostenibles en el proceso constructivo

Según una investigación en España, llamada “Evaluación de medidas prácticas para medir el desempeño de desechos de construcción y demolición, del manejo de residuos en construcciones de edificios” (por su traducción al español) se identificaron las siguientes tres buenas prácticas efectivas durante la etapa de diseño: 1. El uso de sistemas prefabricados o industrializados que generan pocos residuos, 2. la planificación con la tierra que permanezca en el lugar para ser utilizada en el mismo sitio de trabajo, y 3. la entrega de un espacio en el sitio de trabajo para el correcta gestión de los residuos (Villoria Saez et al., 2013).

La minimización de residuos en el diseño de un proceso constructivo es una estrategia clave, siendo una de las mejores maneras de reducir el impacto de los residuos en el ambiente para evitar la creación de residuos. La minimización y reducción de residuos debe ser un objetivo en todo proceso constructivo. Se ha reconocido que una pérdida sustancial en la construcción se origina por prácticas de diseño inadecuadas. La reducción de residuos tiene menor impacto que el tratamiento a residuos ya producidos (Wang et al., 2014).

Las estrategias para minimizar la cantidad de residuos son: el diseño modular, la prefabricación, la estandarización, considerar el potencial de los materiales a ser residuo, minimización de residuos por formación profesional y capacitación, y el plan de gestión de residuos. De acuerdo con Chen et al. (2002) mencionado en (Yuan, 2013b), resguardar y penalizar mediante mecanismos la manipulación de materiales en el sitio puede ser usado para estimular eficazmente los esfuerzos operarios de minimización de residuos. Este último, de acuerdo a la curva de aprendizaje para la variación de la productividad mediante el principio de: “Entre más realice una actividad un trabajador, más productivo llega a ser” (Segura, 2012).

La prefabricación es un proceso de fabricación en un lugar especializado, donde los materiales son compilados para formar parte de la instalación final (Li, Shen, & Alshawi, 2014). Luego estos pueden complementarse con un diseño modular que implica menos tiempo para colocación y fácil instalación ((Hong et al., 2011) citado por (Wang et al., 2014)). Este mecanismo ha sido ampliamente considerado como método de construcción sostenible en términos del impacto en la protección del ambiente. Un aspecto importante de esta perspectiva es su influencia sobre la reducción de residuos de la construcción y las actividades de manipulación de residuos posteriores (Li et al., 2014).

El sitio de gestión de residuos debe contemplar la clasificación de los residuos, evitando que sean contaminados con residuos orgánicos, ya que reduce la cantidad de material para reutilización o reciclaje, y al hacerlos basura en general son dispuestos en vertederos directamente ((Shen et al., 2004) citado por (Yuan, 2013b)).

Las modificaciones en el diseño generan gran cantidad de residuos, principalmente en la fase constructiva, o al terminar la construcción. Ya que cualquier modificación en el diseño puede producir que se deba desmontar de la estructura algunos materiales insalvables, además de la dificultad que en ocasiones implica el devolver materiales al proveedor o su difícil reventa (Yuan, 2013b). Esto se produce cuando el cliente solicita cambios de última hora, la falta de comunicación y la falta de información sobre el diseño. Por lo que, es importante la comunicación efectiva entre cliente con diseñadores, ingenieros y contratistas. Para hacer los cambios en una etapa temprana evitando así el desperdicio (Poon et al, 2002 citado por (Wang et al., 2014)).

Dentro de las actividades efectivas para el manejo de residuos en el sitio de construcción están: la contratación de proveedores que gestionen sus residuos, el contar con sitio de separación y clasificación por categorías de residuos, la distribución con contenedores pequeños en las áreas de trabajo, la realización de controles periódicos sobre el uso de los contenedores, y la compra de materiales a granel para evitar embalaje innecesario (Villoria Saez et al., 2013).

Uno de los problemas que se presenta en el transporte de los residuos es que, la persona encargada del transporte en algunos casos decide qué hacer con los residuos y los deposita en el sitio más cercano a cielo abierto. Esto debe evitarse haciendo la solicitud de una certificación al transportista del sitio donde se hizo la disposición final (ISWA, 2002) mencionado en (Abdelhamid, 2014)).

2.6.6 “Incentivos Financieros”

Los incentivos financieros son una metodología que debe considerarse, dado que los beneficios de aplicar una adecuada gestión de residuos no son a corto plazo, y los sectores de la construcción requieren incentivos que los motive a implementar diseños que produzcan menos desperdicios y que además durante el proceso constructivo se realice la separación de los residuos en el sitio de construcción ((Chen et al. 2002) citado por (Wang et al., 2014)).

El alto costo de gestión de residuos, contrastado con el bajo costo de la eliminación de los mismos en vertederos clandestinos sobre los recursos naturales aunado a la falta de interés por los clientes para la reducción de residuos o minimización, son barreras hacia un mejor manejo de los residuos de construcción (Villoria Saez et al., 2013).

Los beneficios económicos que se pueden obtener de la gestión eficaz de residuos beneficiarían a las empresas de la construcción en términos de reducción de costos y por lo tanto aumentarían la competitividad del contratista a través de menores costos de producción y una mejor imagen pública (Begum et al., 2006) mencionado en (Yuan, H. 2013).

Todos los interesados de un proyecto de construcción llámense diseñadores, ingenieros, arquitectos, constructores, proveedores. Las partes interesadas deben colaborar en realizar una gestión adecuada de residuos, estas partes por lo general se componen de empresa privada y gobierno, en el caso de Trópika también incluye a la academia. Esto se llama un proyecto compuesto por la triple hélice, con gran importancia para vincularse en el desarrollo de un país y atribuye a cada una de las partes exigencias y responsabilidades, para un crecimiento común (Chang, 2010).

2.7 Propuesta Trópika

El proyecto Trópika brinda la oportunidad al ITCR de sumarse en la propuesta de educar en temas de interés nacional como es la construcción sostenible, con propuestas tangibles como este proyecto desarrollado para la competencia del SDE-14. Dada la necesidad de formar profesionales con consciencia ambiental y social, para enfrentar las problemáticas que Costa Rica debe superar si quiere convertirse en un país con desarrollo sostenible.

Este proyecto consta del planteamiento de una propuesta habitacional integral para un sector de la capital costarricense, que se encuentra dentro de la zona de repoblamiento urbano, cercanía a servicios básicos y facilidades de transporte. La cual es una oferta habitacional para unas 81 personas. Sin embargo, debido a requerimientos de la competencia *Solar*

Decathlon, debe de construirse un prototipo de la vivienda propuesta a escala vertical, el cual es llamado módulo Trópika.

Considerando que San José, en los últimos años, ha tenido un crecimiento inmobiliario considerable pero, pocas soluciones habitacionales consideran el contexto de la realidad social y ambiental de nuestro país. Aunado a esto, la población adulta mayor de Costa Rica está en crecimiento, y al ser el usuario principal de Trópika, se deben satisfacer sus necesidades ante sus nuevas circunstancias (Salazar & Tames, 2014).

El módulo está formado por un sistema constructivo modular y fue prefabricado, en este caso es transportable por ser un módulo diseñado para su exhibición en la competencia internacional *Solar Decathlon Europe 2014*, el módulo fue diseñado pensando en que al final de su ciclo de vida sea posible la reutilización de algunos de sus componentes (Solano, 2014).

El módulo habitacional cuenta con un área de construcción total de 108 m², de los cuales, 55 m² es el área principal dentro de la casa. Los 53 m² restantes contemplan las áreas exteriores de terraza, cubierta y rampa de acceso, los cuales se consideran como media área 26 m², lo restante es para áreas verdes. El área contemplada para el cálculo de los residuos por metro cuadrado de construcción es entonces de 81 m² (TEC Team, 2014).

La estructura principal y secundaria es en madera laminada de melina (*Gmelina arborea*) con la certificación internacional FSC (Forest Stewardship Council). Los marcos, estructura interna de los cerramientos, marquesinas y demás elementos arquitectónicos varios, se construyeron en madera de pino (*Pinus sp.*), el piso, cerramientos internos del baño y la retícula, están elaborados con residuos de madera de teca, proveniente de una empresa exportadora de este tipo de madera. Todos los tipos de madera son provenientes de plantaciones costarricenses.

Además, el módulo tiene cerramientos exteriores e interiores, en fibrocemento y plywood respectivamente. Como aislamiento acústico y térmico entre paredes se escogió la lana de roca, la cual es una fibra mineral se instaló entre paredes, su escogencia se debió a que es un

material biodegradable de origen volcánico utilizable en hidroponía, y otros aislantes de venta en el país son altamente contaminantes al cierre de su ciclo de vida. La cubierta contiene acero (Solano, 2014; TEC Team, 2014).

El proyecto de vivienda Trópika, como propuesta habitacional integral, es en condominio horizontal y vertical, ubicado en la zona de la Merced específicamente en el sitio llamado “Pasaje Jiménez”. Comprende un área de 3382 m², la cual se tiene prevista para 84 habitantes. Los prototipos para la vivienda a escala vertical para el proyecto “La Merced” contienen un espacio común en la primer planta, y en las restantes plantas prototipos de 40 a 78 m², la cual es un área parecida a la del módulo construido de casa Trópika, con 81 m², el cual, para exposición en competencia, simula el quinto piso de una de las minitorres (Salazar & Tames, 2014).

El proyecto Trópika tiene una huella constructiva de 1810 m², el área de construcción se puede observar en la figura 2.1., los espacios para los apartamentos son de 55 m² y 78 m², para una y dos habitaciones respectivamente. Trópika está compuesta por un total de cuatro minitorres. El sector oeste tiene dos minitorres dobles de apartamentos, en cada piso, tienen un apartamento con dos habitaciones y otro con una habitación respectivamente. La tercera minitorre tiene en cada piso un apartamento con dos habitaciones y al lado con una habitación, compartiendo acceso (las circulaciones verticales) con otra de apartamentos de una habitación en cada piso, estos están al ingreso por la calle 4 del proyecto Trópika. La cuarta minitorre está integrada por el sitio llamado Amenidades y apartamentos con una habitación, en cada piso. Así mismo, cada torre cuenta con núcleos de escaleras de emergencia además de las circulaciones verticales.

El proyecto Trópika contempla construir un centro de acopio que comprende de 107 m², en este edificio se encuentra la oficina administrativa. Además, en el diseño se tiene que al ingreso del sitio hay guarda en sus accesos, por lo que cuenta con tres núcleos de casetas de seguridad. La Torre Amenidades es un área de 104 m², esta minitorre está compuesta por una terraza, gimnasio, centro de salud y salón multiuso, como parte de las comodidades y espacios de esparcimiento en la solución habitacional (Salazar & Tames, 2014).

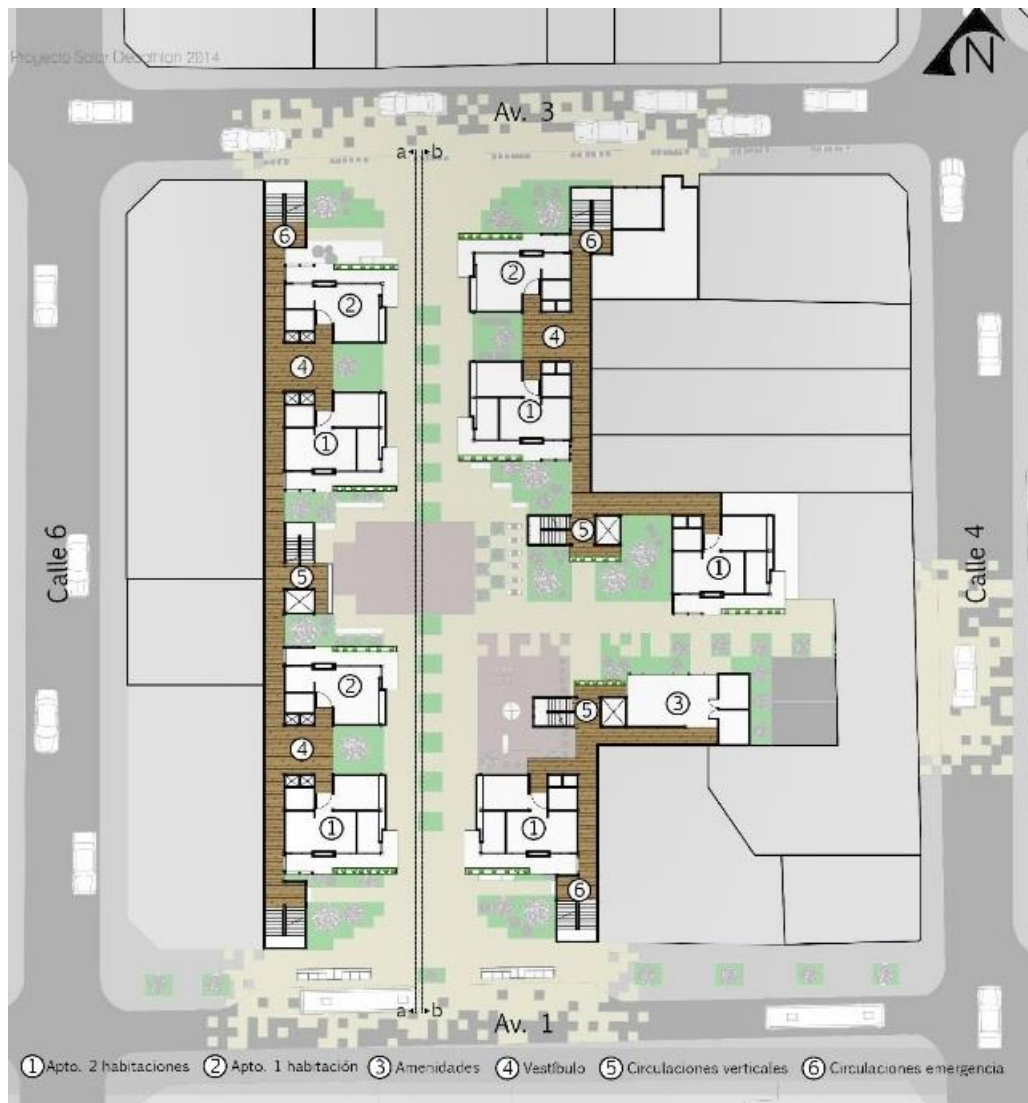


Figura 2.1. Distribución en planta de los apartamentos en el Proyecto Trópika (Tomado de Salazar *et al.* 2014).

3. METODOLOGÍA

El estudio se desarrolló en las siguientes construcciones: el desarrollo de la construcción del módulo Trópika (vivienda de un módulo de construcción sostenible), y al final se comparó con otras dos casas: una construcción de una vivienda en Residencial “Vistas de la Hacienda” en Tres Ríos y otra con una construcción que se recopiló los datos en la tesis de Álvaro Villalobos de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, que data del año 1995; estas últimas viviendas son de mampostería, por lo que se compararon únicamente los residuos misceláneos que contrasten con los del módulo Trópika, ya que este último es en madera.

El módulo Trópika se construyó en las instalaciones del Instituto Tecnológico de Costa Rica, al lado del Taller de Maderas, que pertenece a la Escuela de Ingeniería Forestal. Fue durante la construcción de un módulo de vivienda sostenible como parte del proyecto “Trópika”, el prototipo consta de 104 m² de área de construcción.

El esquema metodológico del proyecto se observa en la figura 3.1

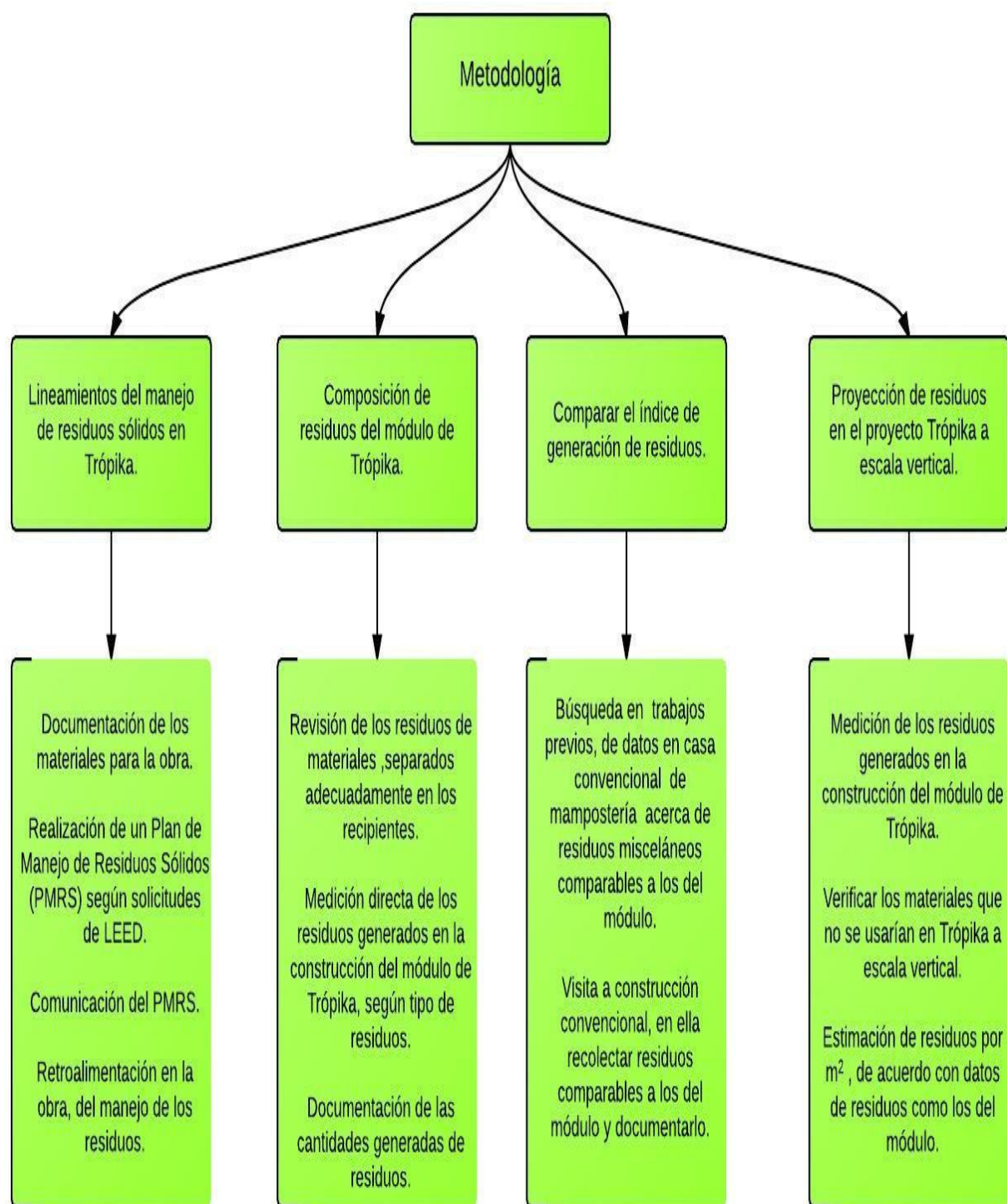


Figura 3.1. Esquema metodológico del trabajo.

3.1. Lineamientos del manejo de residuos

La metodología para el primer objetivo específico se detalla por etapas y actividades en el cuadro 3.1.

Cuadro 3.1: Planeamiento de la gestión de los residuos en obra.

Etapas	Actividades involucradas	Descripción	Materiales y métodos.
Previo a la construcción	-Charlas de manejo de residuos.	Se brindaron charlas de concientización.	En una presentación se abarcaron los términos de residuos, desechos y basura, así como el impacto de los residuos de construcción en el ambiente.
	-Listado de materiales para la construcción del módulo.	Inventario de materiales.	Uso de una hoja de cálculo de Excel, para tener datos de proveedores, tipo de material, uso dentro de la casa, entre otros.
	-Buscar sitios de disposición final cerca del TEC y con los proveedores.	Búsqueda de posibles lugares como opción para la disposición final de los diferentes materiales, en las cercanías a las instalaciones del TEC o con el productor.	Uso de catálogos de internet y llamadas a centros de acopio cercanos.
	-Realizar un Plan de Manejo de residuos.	Uso de la guía LEED, para buscar sinergias del proyecto, escenarios de disposición final y prever porcentajes de residuos por reducir.	Visita de algunos sitios de producción y ensamble de materiales a usarse en el módulo, para analizar su posible reutilización, o reprocesamiento. Guía de referencia certificación LEED para viviendas, en el apartado de “Waste Management”.
Durante la construcción	-Difusión del Plan de manejo de residuos.	Se colgó en la plataforma virtual del equipo, y colocación de rótulos.	Uso de la plataforma virtual podio y rótulos impresos en el sitio de construcción.
	-Separar adecuadamente residuos de materiales no contemplados anteriormente. Y orientación con el uso de los recipientes para estos.	Uso de un recipiente para materiales varios separados internamente con bolsas plásticas. En el que se rotulaban las bolsas de acuerdo al tipo de residuo.	Uso de recipientes de un tamaño que no estorbe en el sitio que se asignó para el manejo de los residuos, de preferencia usar en una sombra y que los recipientes se encuentren con tapa.
Después de la construcción	-Transporte de materiales al centro de acopio.	Una vez que hay cantidad significativa de material recogido y no aprovechable, se envió al	-Uso de un transporte para carga y bitácora para documentación.

-Documentación de centro de acopio con transporte
residuos generados y suministrado por el Tecnológico.
proyecciones del proyecto.

3.2. Determinación de los residuos generados

Para realizar la separación y medición de cantidad de residuos generados, se colocaron seis estañones con un volumen de 0,35 m³ cada uno, rotulados para la separación de residuos, la mayoría del tiempo se intentó tenerlos con su respectiva tapa, principalmente al terminar la jornada de trabajo por si llovía, ya que no siempre estaba alguien a cargo de guardarlos, debido a que el trabajo principal en el sitio es culminar la obra.

Los seis recipientes se utilizaron para almacenar en los siguientes materiales: madera, papel y cartón, plástico, lana de roca, “caña brava” y otros. Adicionalmente, se colocó una pequeña tina para almacenar metales. Dentro del estañón rotulado “otros” se almacenaron por separado lijas, piezas de plycem y el equipo de seguridad por desechar.

Una vez el recipiente lleno, su contenido se guardaba en bolsas dentro del taller hasta tener materia suficiente para colocarlo en un carro “pick up” y proceder a pesarlo; sin embargo, algunos de estos residuos se pudieron reutilizar en la obra. Cuando faltó espacio para almacenamiento en el Taller, se procedió a llevar las bolsas a pesar en el centro de acopio del programa “Manejo de Desechos Institucional” (MADI) y luego al Centro de Investigación en Vivienda y Construcción (CIVCO), ambos pertenecientes al Tecnológico. Ese centro de acopio fue el lugar donde se dejaban en su mayoría los residuos para su disposición final, ya sea para ser transportados a co-procesamiento, al Centro de Transferencia y Transformación de materiales (CTTM) o el relleno sanitario según el tipo de material.

A excepción de la madera, todos los residuos en su totalidad, incluyendo parte de los residuos indirectos generados en la construcción por actividades como turnos de comida. Los residuos se pesaron en bolsas de polietileno grandes para 10 kilogramos y sacos para unos 40 Kilogramos, estos de acuerdo a la disponibilidad en el sitio.

La madera fue pesada de la siguiente manera: De cada diez sacos generados se escogían los dos sacos más llenos, por cada tipo de madera (plywood, melina o teca). Los equipos de medición empleados tanto en el CIVCO como el centro de acopio tienen las siguientes características: En el CIVCO una balanza ABM, con una capacidad para $(60,00 \pm 0,01)$ Kg., capacidad mínima de 0,2 Kg, y en el MADI se utilizó una romana electrónica, marca CAS, modelo PB-150, con capacidad para $(150,00 \pm 0,02)$ Kg.

3.3 Comparación de residuos del módulo Trópika con los residuos de una casa convencional

Para establecer una comparación de residuos se utilizó literatura relacionada con la generación de residuos en viviendas de mampostería y los residuos misceláneos comparables con el módulo Trópika, se encontraron en un proyecto de tesis del estudiante Álvaro Villalobos de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, que data del año 1995. Los residuos que contabilizó en su estudio fueron: madera de formaleta, lámina para techos, gypsum, block y acero estructural.

Asimismo, se realizó la visita al cierre de un proyecto en Tres Ríos dentro del Residencial “Vistas de la Hacienda”. La comparación es con base en residuos de acabado y no de la parte estructural, es una casa de 245 m², de dos plantas y un área techada de 150 m², a la cual se visitó el día 30 de octubre por lo cual en el sitio se recolectaron residuos de PVC y láminas de techo, que se transportaron al CIVCO para su pesaje, con la misma balanza que se utilizó para los residuos del módulo Trópika.

3.4 Proyección de residuos en la propuesta del módulo en escala vertical

El área interna medible del módulo construido para la competencia es de 55 m², pero contemplando el área exterior con terraza, rampa de acceso y vestíbulo, son 81m² de construcción (Solano, S., 2014). Esa área permite encontrar un índice de cantidad de residuos por metro cuadrado, con este, se busca la generación de residuos para cada piso de minitorre de apartamentos con una habitación. El índice de generación de residuos, se aplica para cada

material la relación siguiente en una hoja de cálculo en Excel, la fórmula que se aplica es la siguiente:

$$(Ecuación 1) \quad I = \frac{\text{Cantidad de residuos de cada material específico generado en el módulo}}{\text{área del módulo (81 m}^2\text{)}}$$

Donde, I: Índice de generación de residuos por material, en Kg/m².

Para estimar los datos en los apartamentos con dos habitaciones se deben adicionar 23 m² a los 81 m² y buscar la relación que generaran los residuos para un área total de 104 m² para cada piso por apartamento con habitación doble. Que se tiene de multiplicar esta área de habitación doble con los índices de generación de los materiales (ecuación 1). La fórmula para encontrar los residuos por cada minitorre es la siguiente:

$$(Ecuación 2) \quad M = \sum (A * I)$$

Donde:

M: Cantidad de residuos generados por construir la minitorre, en Kg.

A: Área del apartamento, 81 m² y 104 m², ya sea de una o dos habitaciones.

I: Índice de generación de residuos por material. Se obtiene de la ecuación 1.

Al sumar los residuos de todas las minitorres, se encuentra la cantidad de residuos estimada.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Lineamientos del manejo de residuos sólidos de la construcción en su generación, el almacenamiento en el sitio y la disposición final.

Previamente, a la construcción del módulo de la casa Trópika se elaboró un Plan de Manejo de Residuos Sólidos (PMRS), que se puede observar en el apéndice 1., el cual debió cambiar aspectos como la disposición final de algunos residuos, e incluir nuevos materiales.

Este Plan de Manejo de Residuos Sólidos brinda información muy importante para las personas que trabajan en la construcción, por lo que debe ser de conocimiento para la cuadrilla de trabajo. Se desarrolla con la finalidad de separar los residuos en forma adecuada y poder recuperar la mayor cantidad de estos en la obra, también se puede considerar una estrategia de reducción de residuos en conjunto con las estrategias en el diseño y el proceso constructivo de la obra (Méndez, 2009).

En las construcciones usualmente se dan cambios en los materiales estimados en el presupuesto, y los que se colocan en el momento de la ejecución (Abarca, 2014), esto se da ya sea por factores como la disponibilidad del material o su costo. Por estas razones es importante la comunicación de cambios en los materiales al encargado ambiental, y al realizar los cambios se debe incluir los materiales nuevos en el Plan de Manejo de Residuos Sólidos. Esos factores fueron de gran incidencia en la construcción de Trópika y la aplicación del PMRS.

4.1.1. Almacenamiento en sitio

Para el almacenamiento en sitio, primero se colocaron cuatro estaciones para separar y acopiar residuos, luego se colocaron los otros dos estaciones más, a un par de semanas de iniciada la obra, esto se realizó así para un mejor aprovechamiento del espacio; pues algunos residuos como los de caña brava y lana de roca se generarían luego de tener parte de la estructura armada, según el proceso constructivo del módulo. La caña brava se empleó en la retícula y la lana de roca de aislante en paredes y techo.



Figura 4.1. Baterías de residuos al iniciar la construcción del módulo de Trópika.

La manipulación de materiales se estableció según el cuadro 4.1 en la fase de planeamiento de la construcción, luego de construir se encontró que el proceso del cuarteo y clasificación de residuos, debe darse al momento de documentar estos y sin que estorben en el proceso constructivo de la obra.

Cuadro 4.1. Actividades por proceso de manipulación de residuos.

Proceso	Actividad
Recepción de residuos	Se deben recoger los residuos al momento de ser generados, esto debido a que los encargados de la construcción tienen las instrucciones del manejo adecuado de los residuos. Para así evitar riesgos de caídas o tropiezos por estorbar los residuos.
Cuarteo y clasificación	Se tomará una pequeña muestra para realizar el cuarteo y determinar la composición porcentual de los residuos. Así como el pesaje y dimensionamiento de los materiales para documentación.
Separación	Se requiere que los residuos sean separados en las baterías adecuadamente identificadas.
Revalorización	Se busca darle una nueva utilidad a los residuos ya generados, ya sea con la misma funcionalidad anterior u otra.
Acopio	En el sitio se dispone de una zona para el acopio de materiales y su almacenamiento. Este será de forma que se pueda aprovechar de mejor manera el espacio, por lo que los residuos de materiales estarán bien compilados, además de limpios y secos.
Tratamiento	Se elige que materiales se deben reprocesar, cuales necesitan cambios físicos o inclusive un proceso de mayor transformación de su apariencia.
Disposición final	Se reconocerán los materiales a los que se va a disponer in situ y los que requieren transportarse. Esta será de distintas formas de acuerdo al residuo de material en específico.

La cuantificación de los residuos debe realizarse durante todo el proceso de ejecución de la obra y organizarse en residuos por etapa. El período de documentar residuos se debe realizar según el tamaño y volumen de construcción en distinta etapa, la cual debe reconocerse y es seguro que al final de la construcción, siempre se debe contabilizar residuos. También hay que reclasificar los residuos, en el momento de tomar decisiones para la disposición final de estos, cuando fueron ya generados.

4.1.2 Separación de residuos

La separación de residuos se hizo de acuerdo con la composición general de materiales y no por tipo de material, para facilitar incluir otros que no estuvieron previstos. El cuadro 4.2 muestra la manipulación que se recomendó para los materiales en su respectivo recipiente, este proceso se procuró que lo realizaran los estudiantes y la constructora, que se contrató ya

iniciada la construcción, para darles una idea a los involucrados, de cómo ir utilizando los estañones en el sitio de la construcción.

Cuadro 4.2. Manipulación de materiales para el acopio de residuos.

Material	Prioridad de manipulación	Separación
Lana de roca	Mantenerla en buen estado limpia para reuso.	Estañón lana de roca
Plástico	Mantenerlo limpio	Estañón plástico
Madera	Procurar el reuso, mantenerla seca y limpia.	Estañón de madera
Equipo de seguridad	Cuidar su equipo de seguridad	Bolsa de equipo de seguridad.
Cartón	No ensuciar ni cortar lo que no se necesita cortar, mantener seco.	Estañón de cartón
Caña Brava	No mojar ni ensuciar.	Estañón de caña brava.
Aserrín	Recolectar todo lo que se pueda.	Bolsa de aserrín, en estañón de otros.
Metal	No desperdiciar ni dejar tirado.	Recipiente de metal
Fibrocemento	No mojar ni ensuciar, no desperdiciar.	Estañón rotulado como “otros”

La separación con los recipientes se realizó de tal forma que estos no estorbaran en el espacio destinado a la construcción. El recipiente de residuos llamado “otros” contribuyó enormemente a esta situación del espacio. Lo que permitió este, fue que desechos de materiales no esperados, se dispusieran en una bolsa dentro del recipiente de “otros”, y ahí se dio la separación interna de sus residuos. Los materiales aquí depositados fueron las lijas, aserrín y otros residuos menores en cantidad, para evitar se revolvieran entre sí.

4.1.3. Disposición final

Uno de los factores que dificultó la forma como se disponían algunos materiales fue la variación de proveedores, principalmente la madera, porque previamente se coordinó con algunos proveedores, ejecutar el principio de responsabilidad extendida del productor que menciona la Ley GIRS. Por voluntad del anterior proveedor, éste se encargaría de la

disposición final de la madera residuo en una caldera de su propiedad. Finalmente, el cuadro 4.3 indica la disposición final de los materiales de la construcción, con los cambios que se dieron al momento de contabilizar material y por consultas al profesor Joaquín Jiménez (Jiménez, 2014).

Cuadro 4.3. Disposición final de materiales de la construcción. (Jiménez, 2014).

Material	Previo destino final	Destino Final
Lana de roca	Reuso.	Relleno Los pinos
Plástico	Centro acopio TEC	CTTM
Lijas	Reuso	Relleno Los pinos
Aislante P3	Reuso	Relleno Los pinos
Teca	Reuso	Reuso / Energía.
Equipo de seguridad	Centro de acopio	CTTM/ Co-procesamiento
Mecate	Reuso	Relleno Los pinos
Melina	Reuso	Reuso / Energía.
Cartón	Centro acopio TEC	CTTM
Caña Brava	Reuso	Reuso
Aserrín	Acopio	Fuente de energía
Metal	Reuso	Reciclaje CTTM
Plywood	Reuso	Reuso/ Energía
Fibrocemento	Reuso	Reuso

4.1.4 Modificaciones de acuerdo al planteamiento inicial del PMRS.

Respecto al planteamiento inicial de la obra, en el módulo de la casa “Trópika”, se debió cambiar el proveedor de la madera, porque la competencia del Decatlón Solar requería una certificación internacional para el ingreso de madera a la Unión Europea. Dicha certificación es la FSC, esta certificación solamente un proveedor en el país la ofrecía. De haber tenido otro proveedor se generaban los residuos en el taller del vendedor de la madera, esto encarece un poco el costo de la madera, pero brinda la oportunidad de manejar menos residuos en el sitio de la construcción y generalmente el residuo de madera es aprovechado.

Las piezas de madera se pretendía que llegaran al Tecnológico, cortadas según las medidas de los planos de Taller, para generar menor cantidad de residuos en el lugar y esto no fue

logrado a cabalidad, ya que se debió realizar trabajo de taller en el sitio por parte de los estudiantes del Tecnológico, debido a los cambios de proveedores y la negociación a destiempo con nuevos proveedores. Esto interfirió en la modulación esperada en el sitio de la construcción.

Al inicio de la construcción de la vivienda, se generó mayor cantidad de residuos de lo estimado por el trabajo de taller que realizaron los estudiantes, al lado del sitio de construcción. Sin embargo, estos residuos brindaron la oportunidad de contabilizar su generación en el sitio, aún cuando estos residuos son menos aprovechables cuando se producen en la construcción que cuando se producen en un aserradero, dada la capacidad de aprovecharlos mayormente en otras actividades dentro del aserradero y en la construcción pueden estorbar más; no obstante, se reutilizó previamente la mayor cantidad de residuos de madera en la construcción de la casa y se donó parte a interesados para elaboración de artesanías.

Debido a la cercanía con el Taller de Maderas del Tecnológico, se tuvo la posibilidad de buscar convertir los desechos finales de la madera en pellets, los cuales son pequeños pedazos de madera aprovechables como biomasa para la producción de energía, dentro de un proyecto de investigación del CIIBI, en el Centro de Investigación en Integración del Bosque, perteneciente a la Escuela de Ingeniería Forestal del ITCR. Lo cual facilitó una disposición final cerca del sitio.

4.1.5. Aspectos relevantes para el manejo de los residuos.

El Centro de Transferencia y Transformación de materiales del ITCR (CTTM), que es un centro de revalorización de materiales en la Zona Industrial de Cartago, fue parte de las sinergias con el proyecto para disponer de la mejor manera los residuos. El CTTM cuenta con gran experiencia en el manejo de desechos, y fue el encargado de enviar a co-procesar materiales pues cuenta con un convenio con una empresa que brinda el servicio de co-procesamiento; además de seleccionar materiales que se les puede brindar otro uso se consideró como última opción enviar residuos al relleno sanitario.

Desde el Taller de maderas se enviaban los residuos al centro de acopio del TEC, y en conjunto con el profesor Joaquín Jiménez se determinaba la disposición final de algunos materiales muy específicos (ver cuadro 4.3) tales como equipo de seguridad, aislante P3 y lijas. En caso de que la disposición fue el relleno sanitario se valoraba la opción de volver a llevar los residuos al sitio de construcción a verificar si aún alguno era aprovechable, de lo contrario se devolvían al centro de acopio. Del centro de acopio del TEC se enviaban al CTTM y co-procesamiento, según la disposición más adecuada del residuo, estos residuos se apartaban de los que se dirigieron al Relleno Sanitario.

La certificación LEED solicita se tengan sinergias, tal como la del CTTM con el proyecto Trópika, para la suma de puntos en certificación de viviendas. Sinergias de este tipo son asociaciones que facilitan la revalorización de materiales y asegura al generador un tratamiento y disposición de sus residuos.

La lana de roca, de la marca rockwool, es un aislante biodegradable que tiene un alambre que facilita su amolde en las paredes, este material se compró en sustitución a uso de otros aislantes de plásticos altamente contaminantes y debido a la poca factibilidad económica de importar algún aislante a base de la reutilización de telas. Inicialmente, durante la etapa de planeación y diseño de Trópika, se manejó la idea de comprar aislante hecho con base en telas de residuos de textileras; sin embargo, debido a su alto costo económico del transporte y su impacto en la huella de carbono se desechó la idea.

La lana de roca fue un material crítico dentro de la construcción del módulo, porque su incorporación fue principalmente con el objetivo de mejorar en aclimatización de la casa para la competencia en Francia. En un monitoreo realizado en Cartago se pudo comprobar un mejoramiento del confort interno. Pero debido a la falta de conocimiento del comportamiento y aplicación del material, se estimó mucho más material del que se requería, el cual pudo haber sido tres veces menor que lo adquirido.

Trabajar con materiales nuevos para un diseñador puede implicar que la estimación de residuos sea mucho mayor e incluso menor a la cantidad de material que se requiere, en el caso de la construcción del módulo de Trópika, la utilización de un material nuevo hizo que se comprara mayor cantidad de material que el necesario. Por lo que una posible forma de evitar esto, es al momento de tratar con el proveedor, solicitarle recomendación de la cantidad de material que el proveedor considere necesaria para los m² de construcción que se cotiza, además al momento de elaborar el presupuesto no solicitar más de un 10% de material extra. De acuerdo con datos del Departamento de Construcción del TEC Team, el porcentaje de material extra comprado para del módulo de la casa fue de 10-15% según el tipo de materiales.

La disposición final de la lana de roca fue el relleno sanitario (cuadro 4.1.3). Este material enviado al relleno tenía las siguientes condiciones: poseía suciedad e incluso estuvo expuesto a lluvia, no se encontró otro tipo de uso dentro de la casa ni había personas que limpiaran el aislante, sumado que había mucho material de este tipo en excelentes condiciones. Para el envío al relleno no fue posible quitar el alambre, dado que se pensó en aprovechar el metal, pero debido a que la lana de roca provoca comezón y por razones de tiempo en la construcción fue difícil asignar la tarea de quitar el alambre a la lana de roca sucia. Además, la lana de roca por ser un material de fácil degradación en el relleno sanitario no debería ser una fuente de contaminación.

Un diseño modular genera menor cantidad de desperdicios en el lugar de la construcción, y esto fue lo que se procuró en la construcción del módulo de Trópika (Araya, 2007), pues al ser un diseño modular facilita la manipulación de menor cantidad de residuos en el sitio facilitando el trabajo de las cuadrillas, porque estas se preocupan más por terminar el trabajo, situación que ocurre principalmente con constructoras (Leiva, 2011). Los diseños modulares de acuerdo con RESET hacen evitar los desperdicios y es una forma de acercarse a implementar construcción sostenible.

4.2 Generación de residuos en la construcción del módulo de Trópika

Los tipos de residuos producidos en su mayoría fueron: maderas, metales, empaques de diluciones, equipo de seguridad, herramientas, mecates, cintas de plástico, aserrín, cartón, plywood, vidrio, fibrocemento, lijas, lana de roca, PVC y plásticos de diferentes tipos, caña brava, aislante P3, lo mínimo del plywood y plydeck de las paredes (un par de piezas pequeñas).

Los residuos generados durante la construcción del módulo de Trópika se cuantificaron según tipo de residuo y se puede observar en el cuadro 4.4 que la generación total de los residuos fue de 521,46 Kg, y para el área del módulo de 81 m² se determinó un índice de generación de 6,44 Kg/m², el cual, está cerca del rango menor encontrado por la investigadora Abarca encontrado en el país con 7 Kg/m².

Como se observa, los materiales con mayores cantidades de residuos generados, fueron madera y lana de roca; la lana de roca, sin embargo, tiene la mitad de la generación de residuos de melina, como se observa en la figura 4.2., la madera principal fue melina debido a que la estructura del módulo es con este tipo de madera.

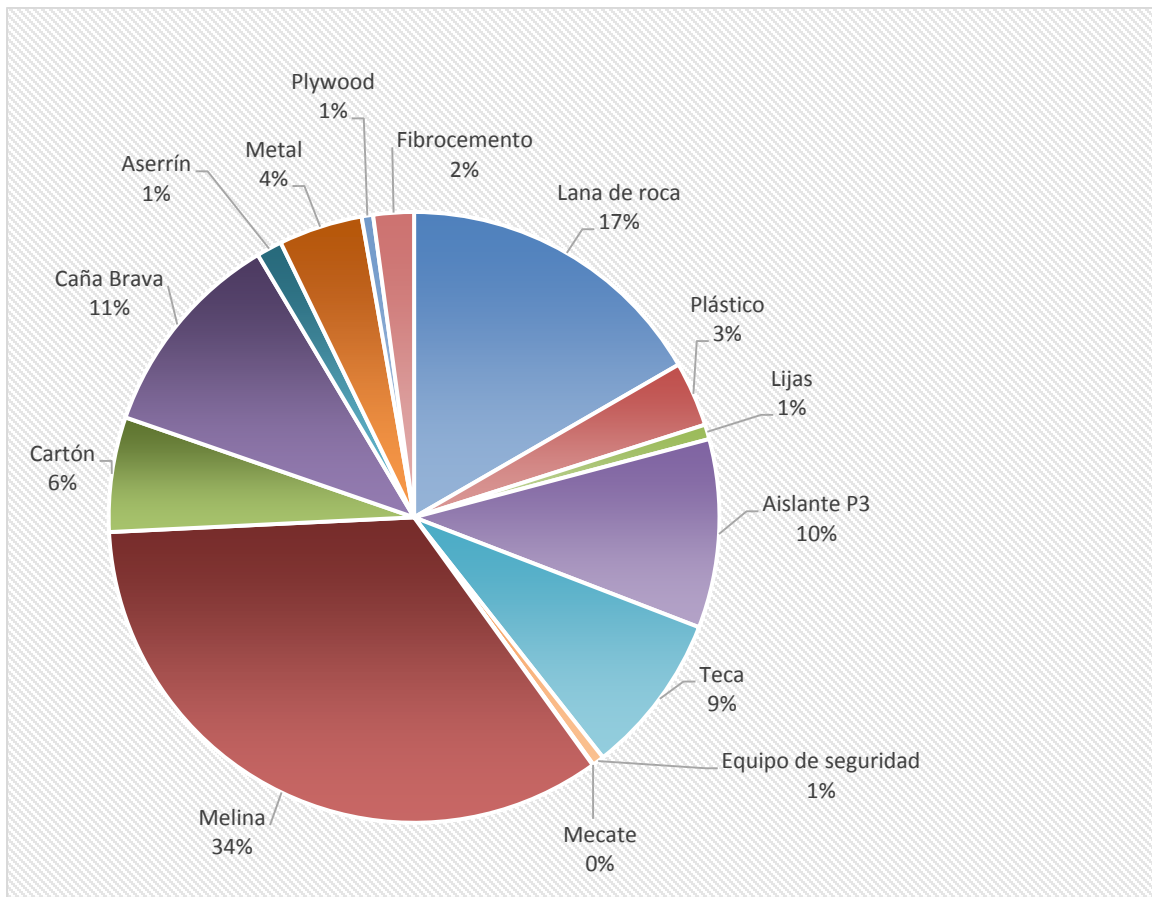


Figura 4.2. Distribución porcentual de residuos del módulo de trópika.

La cantidad de maderas generada es principalmente por el trabajo de Taller. La modulación no se dio en todas las piezas de la casa, en un Taller fuera del Tecnológico, tal como si fue el caso de la modulación del piso en el Taller Guayabo. Los estudiantes del TEC Team, que en su mayoría no habían trabajado antes en labores de construcción, debieron realizar la tarea de medición y corta de piezas para la estructura, antes del ensamblaje de la casa. La falta de experiencia influyó en la generación de residuos, pero también se contó con una cuadrilla atípica respecto a otras construcciones, por la consciencia de generar la menor cantidad de residuos para una competencia de construcción sostenible.

El metal se contabilizó como uno solo incluyendo restos de láminas de acero para entepiso, tornillos de perno dañados y pedazos de láminas de techo. De este último se contabilizó 2,43 Kg ya que se debió recortar los bordes en el norte y sur de la casa.

Cuadro 4.4. Cantidad de residuos generados en kilogramos por materiales del módulo de la casa.

Material	Cantidad generada kg
Lana de roca	86,90
Plástico	17,88
Lijas	4,06
Aislante P3	52,08
Teca	44,48
Equipo de seguridad	3,28
Mecate	0,20
Melina	178,21
Cartón	31,68
Caña Brava	58,12
Aserrín	7,05
Metal	23,17
Plywood	3,15
Fibro cemento	11,2
Total	521,46

4.2.1 Estrategias ante dificultades para disminuir los residuos.

El uso de equipo de seguridad y la separación de residuos fueron dos de las actividades con más dificultad para la cuadrilla, debido a la falta de hábitos adecuados en estas tareas, por lo que al inicio de la obra se debió sacar tiempo para hacer una capacitación al grupo, de la importancia de un manejo y gestión adecuados de los residuos, además del seguimiento en las capacitaciones de seguridad, las cuales se dieron por un periodo de un par de horas los lunes durante seis semanas.

En las capacitaciones siempre se les recordó la importancia de evitar producir residuos para la prevención de la salud, el evitar los desperdicios además de no hacer acciones que dañen al ambiente, pues en Latinoamérica el sector construcción es uno de los más riesgosos, y el uso de equipos de protección personal (EPP) resulta incómodo para los constructores, por lo que informar de los riesgos en el trabajo (tales como las caídas incluso por residuos en el sitio de construcción) y las ventajas del uso de EPP, permite que la cuadrilla a pesar de lo incómodo de estas actividades, se comprometan al uso del EPP y acopiar residuos, que en otros sitios pueden implicar un riesgo de caídas (OSHA, 2014).

4.3. Comparación con residuos de casa convencional en Costa Rica

De acuerdo con datos de Villalobos (1995), se tienen los datos de la casa de mampostería de los índices de generación. Los datos del proyecto en Tres Ríos en la que se recolectaron los residuos de los materiales al estar en la fase de cierre del proyecto, previo a la entrega de la vivienda, los que se debieron separar en el sitio para transportarlos al CIVCO y pesarlos. El cuadro 4.5 muestra el resumen de los resultados obtenidos al medir el índice de desperdicios de las distintas viviendas. En la cual los residuos misceláneos de las casa de mampostería, ambas resultaron tener índices de desperdicio mayores a los del modelo casa Trópika.

Cuadro 4.5. Índices de generación de residuos en casa trópika y de mampostería para materiales misceláneos.

Material	Índice desperdicio Trópika. Kg/m ² .	Índice desperdicio Kg/m ² (Villalobos, 1995).	Índice desperdicio en Proyecto Vistas de la Hacienda Kg/m ² .
Fibrocemento	0,140	0,710	--
Láminas de techo	0,022	0,130	0,034
PVC	0,005	--	0,013

Se necesitan más investigación de residuos misceláneos, dado que en el país se han realizado investigaciones respecto a:

1. índice de generación de residuos en construcciones modulares y no modulares, estas con áreas de 150-450 m² en construcciones de concreto y mampostería en el GAM.
2. Una guía de procesos constructivos sostenibles para edificaciones mayores a 1000 m² para la que se midieron desechos ordinarios, acero, madera y escombros.
3. Una guía de acabados para la construcción sostenible en la que se estudiaron los procesos de fabricación de acabados en madera y
4. El análisis de la metodología LEED en construcciones sostenibles para su aplicación en Costa Rica. De los anteriores solamente uno de los proyectos es el que midió algunos residuos misceláneos y fue el utilizado para la comparación.

4.4 Proyección de residuos para solución habitacional de proyecto Trópika

4.4.1 Panorama del proyecto habitacional vertical

El proyecto a escala vertical se evaluó para su desarrollo en un área de 3382 m² para 84 habitantes, en la propuesta de Trópika en el sitio conocido como “Pasaje Jiménez”, La Merced. Los prototipos para la vivienda a escala vertical para el proyecto “La Merced” son prototipos de 40 a 78 m², por piso. Adicionando el espacio para acceso al apartamento, se estipula para el apartamento de una habitación un área parecida a la del módulo construido, que son 81 m²(Salazar et al., 2014).

A diferencia del módulo construido para la competencia del Decatlón Solar, estos apartamentos no necesitarán materiales como caña brava, ya que las minitorres no tienen pérgolas, por lo cual uno de los residuos que más se generó en el módulo no se generaría en el proyecto a escala vertical. Del cuadro 4.4., se observa que para la proyección de residuos en escala vertical se quitaron los residuos de lijas y lana de roca. Esto debido a que no se requerirá hacer ese trabajo de taller en sitio por lo que no se espera tener lijas y la lana de roca no se va a emplear como aislante.

4.4.2 Proyección de residuos

La generación de residuos por el concreto será uno de los residuos críticos en el sitio, dado que para la construcción del módulo no se requirió de este. Sin embargo para disminuir este efecto se prevé presupuestar la cantidad necesaria sin mucho porcentaje adicional, tanto para no generar mucho desperdicio como cuidar el presupuesto. Se prevén dos tipos de concreto, para exteriores e interiores, exteriores de los emplazamientos para el sitio de parqueo e interiores de los pisos de concreto lujado, que son el piso de la primer planta de minitorres y oficinas administrativas. El sitio de los 3382 m² cuenta con un 10% de áreas verdes y otro 10% para área de juegos (Salazar et al., 2014), lo cual representa que la zona para caminos peatonales y parqueos es de unos 895 m² para superficies exteriores de concreto permeable.

El concreto de interiores se distribuye de la siguiente manera: son 107 m² del centro de acopio (que de este edificio 28 m² son de la oficina administrativa), 13 m² el núcleo de cada uno de las tres casetas de seguridad, 28 m² cada uno de los tres núcleos de circulación, 30 m² cada uno de los cuatro núcleos de escaleras de emergencia.

En consulta al profesor Mauricio Araya del CIVCO, de acuerdo con su experiencia en una consultora, dijo que el desperdicio de concreto no debe ser mayor a 2 m³ lo que se debe de esperar de desperdicio, ya en un proyecto a gran escala el desperdicio que llega al 2% es por descuido. El desecho de mampostería, por lo general entre mayor sea el proyecto es menor la cantidad de desperdicio, ya que en proyectos de gran envergadura se aprovecha mejor el material (Araya, 2014). La estimación de residuos para el área de concreto permeable en el proyecto Trópika es de: 2,715 m², calculado a 1% de desperdicio, el cual se espera sea menor dadas las declaraciones de la experiencia del profesor Araya. Se pretende ir haciendo uso de los residuos en las aceras del proyecto y en zonas aledañas, sin embargo, se pretende el residuo sea menos. El desecho final se dispondrá como material para compactación en el relleno sanitario de La Carpio.

Respecto a los materiales para la cimentación, se tiene que la losa aislada, se recomienda que la mezcla sea comprada con un porcentaje adicional que no exceda del 5%, y la varilla que no exceda del 4%. Entre estos materiales, la varilla que no se utilice, evitar se contamine con la mezcla, para así poder utilizarla en otra construcción. Estos porcentajes se recomiendan respecto a la investigación que realizó en el GAM Álvaro Villalobos (Villalobos, 1995). En la que incluso el porcentaje de campo para la varilla es menor al 4% lo que se utilizó (un 3.3%) y la mezcla de concreto varía según los criterios de la constructora para presupuesto. Por lo que se recomiendan estos porcentajes como entre los más bajos aceptables para construir sin mucho desperdicio, según ese estudio, que continúa siendo muy completo.

La generación de residuos para un área de 81 m² se pudo contabilizar en la construcción del módulo y con estos datos se proyectó la generación de residuos para apartamentos con una y dos habitaciones, los de dos habitaciones por piso equivalen a 104 m² de acuerdo al diseño propuesto para las minitorres. Se hizo la correlación en los datos que se muestran en el cuadro

4.6., para los residuos que se esperan en cada piso de dos habitaciones. Por lo que el total de residuos para cada piso para apartamentos de dos habitaciones es de 478,12 kg y para apartamento de una habitación es de 372,38 kg, al excluir la caña brava y lana de roca de los materiales.

Cuadro 4.6. Proyección de residuos para cada m² y para apartamentos de una y dos habitaciones por piso.

Material	Cantidad generada kg por cada m²	Cantidad generada en 81 m²	Cantidad generada en 104 m²
Plástico	0,22	17,88	22,96
Aislante P3	0,64	52,08	66,87
Teca	0,55	44,48	57,11
Equipo de seguridad	0,04	3,28	4,21
Mecate	0,00	0,2	0,26
Melina	2,20	178,21	228,81
Cartón	0,39	31,68	40,68
Aserrín	0,09	7,05	9,05
Metal	0,29	23,17	29,75
Plywood	0,04	3,15	4,04
Fibrocemento	0,14	11,2	14,38
Total	4,60	372,38	478,12

La estimación total de residuos de la construcción de Trópika se observa en el cuadro 4.7, en la que se encontró un total de 21,5 toneladas, por todo tipo de material exceptuando concreto. Se evaluó cada componente de minitorre de apartamentos con una y dos habitaciones respectivamente, además se estimaron los residuos que representan las ofertas de cada una de las minitorres y los 1810 m² de estructura en la primera planta principal. Esa primera planta no estima los residuos del piso debido a que se planea sea concreto lujado y en el módulo no se tenían residuos de concreto.

Cuadro 4.7. Estimación de residuos para solución habitacional en escala vertical.

Componente de Trópika	Cantidad residuos Kg
Cuatro pisos de 1 habitación	1489,52
Cuatro pisos de 2 habitaciones	1912,47
Cinco ofertas en minitorre de apartamento de 1 habitación.	7447,6
Cinco ofertas en minitorre de apartamento de 2 habitaciones.	5737,41
Huella de construcción de 1810 m ² .	8321,08
Total de residuos en construcción sin concreto.	21506,09

Esta cantidad de residuos, se tiene como línea base y se espera una disminución de residuos, dada la posibilidad de reutilización dentro del proyecto en los apartamentos de las minitorres y por las recomendaciones que se brindan tanto en este documento como de la retroalimentación para el PMRS para el proyecto Trópika.

5. CONCLUSIONES

Lineamientos del manejo de residuos en el módulo Trópika y PMRS.

- El Plan de Manejo de Residuos Sólidos de la construcción del módulo Trópika se diseñó en forma integral a los procesos de diseño y ejecución, con el objetivo de reducir la cantidad de residuos. Contemplando las estrategias de informar sobre la necesidad de separar los residuos en la fuente y separando estos, se logró recuperar una mayor cantidad de residuos que la que se hubiese hecho sin el Plan de Manejo.
- De la experiencia vivida en la ejecución de la construcción del módulo Trópika, los cambios de materiales que se dan durante el proceso de construcción, afectan tanto los costos del proyecto como las estimaciones de residuos que se esperaban, por lo que es importante incluir cualquier variación de materiales en el Plan de Manejo de Residuos, y actualizarlo al darse esta situación.
- El Plan de Manejo de residuos brinda información muy importante para las personas que trabajan en la construcción, y sirve como estrategia para que el comportamiento de la cuadrilla contribuya a la reducción de residuos además de permitir el dar trazabilidad de los materiales en proyectos de construcción, para un mejor control presupuestario.
- Por el conocimiento en el sitio de la obra, acerca de la necesidad de manejar adecuadamente los residuos de la construcción y la comunicación del Plan de manejo, se pudieron recolectar y separar, para darles una disposición adecuada sin crear de estos basura. Lo cual se afecta en periodos de cambios y variación de materiales en la construcción, he aquí la importancia de informar cómo manejar estos nuevos residuos para lograr los separen en sitio.
- El Centro de Transferencia y Transformación de materiales del Tecnológico, es un centro de revalorización de materiales en la Zona Industrial de Cartago, éste fue la principal sinergia del proyecto para disponer de la mejor manera de los residuos, ya que cuenta con convenios con empresas como Geocycle y tiene gran experiencia en el tratamiento de los residuos, tanto ordinarios, como especiales.

- La disposición final de los residuos del proyecto Trópika tiene menos impacto en el relleno sanitario, por ser un proyecto que aplica la jerarquía de los residuos desde su diseño, y evita volúmenes grandes de residuos de materiales como el concreto en el relleno sanitario.
- Al introducir la aplicación de la jerarquía de residuos en proyectos, es importante la constante concientización de todos los involucrados en la obra, ya que esto influye en la cantidad de desechos por gestionar. Por lo que es necesario que tanto los encargados de diseño como de la ejecución del proyecto, tengan presente la aplicación del plan de manejo de residuos, y se eviten los desperdicios de material.

Información de la composición de residuos en el proceso constructivo del módulo Trópika.

- Los residuos generados durante la construcción del módulo de Trópika, se cuantificaron según el tipo de residuo y siendo un total de 521,46 Kg. Siendo los materiales con mayores cantidades de residuos generados, fueron madera y lana de roca.
- Un diseño modular genera menor cantidad de residuos en el lugar de la construcción, y esto fue lo que se procuró en la construcción del módulo de Trópika, la cual obtuvo un índice de generación de residuos de 6,44 Kg/m² por debajo del menor rango de 7-160 Kg/m² encontrado en construcciones dentro de Costa Rica, por la investigadora Liliana Abarca.

Comparación de índices de generación de residuos en construcciones.

- La comparación de residuos del prototipo Trópika con respecto a la construcción de dos viviendas en mampostería, resultó tener menores índices de desperdicio en los materiales misceláneos que éstas tenían en común, tales como láminas de techo, PVC y fibrocemento.
- Debido a la falta de datos con respecto a los materiales misceláneos que se desperdician, sólo en una investigación anterior se encontraron índices de generación

de residuos de materiales como fibrocemento y láminas de techo, con los cuales se compararon los datos de residuos de la construcción del módulo Trópika y también los de una vivienda a la que se recolectaron los residuos en la etapa final de la construcción, de la forma en que se pueden recolectar los datos en la mayoría de construcciones a las que no se les da trazabilidad a los materiales.

- La necesidad de más estudios respecto a la generación de residuos misceláneos es evidente, para lograr disminuir estos de igual manera que se reducen residuos por la construcción modular. Dado que al revolver estos residuos misceláneos con el resto de residuos de la construcción, dificulta mayormente el poder rescatar materiales para su reutilización.

Proyección de residuos para solución habitacional a escala vertical del proyecto Trópika.

- A diferencia del módulo construido para la competencia del Decatlón Solar, las minitorres del proyecto a escala vertical no generarán residuos de caña brava, lana de roca ni lijas en el sitio, siendo caña brava y lana de roca dos de los residuos que más se generaron en la construcción del módulo. Por lo cual se evitarían materiales que en la construcción del módulo dejaron una cantidad significativa de residuos que debieron tratarse adecuadamente.
- La proyección total de residuos de la construcción vertical, se estimó un total de 21,506 toneladas, al incluir todos los materiales para la construcción de la solución habitacional residencial, el cual puede reducirse, dada la posibilidad de reutilización dentro del proyecto en los apartamentos y dejar esta cantidad como línea base para la disminución de residuos.
- La generación de residuos de concreto será uno de los residuos más críticos en el sitio de la construcción de Trópika a escala vertical, sin embargo, por el tamaño de la construcción se espera sea poco dado el aprovechamiento que puede darse en ésta, en espacios como aceras, por lo que se pretende el desperdicio sea menor a los 2 m³ y previamente se delimiten en la zona espacios cercanos donde se puedan utilizar los residuos de concreto.

- Los cimientos de cada una de las minitorres se espera que la persona que realice el presupuesto, no use porcentajes adicionales mayores al 5% para la mezcla de concreto y 4% para la varilla#3, y con el último residuo de estos procurar que la cuadrilla de trabajo los reutilice sin contaminar otros materiales, principalmente la varilla.

Aportes de la investigación

- Se encontró la necesidad de mejoras en el tratamiento de residuos peligrosos como los equipos de protección personal, para que su disposición final genere menos impacto que el actual, ya que aunque el uso de equipo de seguridad y la separación de residuos fueron dos de las actividades con más dificultad para la cuadrilla de trabajo en la construcción del módulo, el país avanza en mejoras acerca de estos temas. Y ambos son necesarios para construir de forma más sostenible.
- El impacto de la estimación de residuos del proyecto a gran escala, permite dar una idea de los desechos que eventualmente se generarán y así con esas cifras comprometerse a disminuirlos con mejores prácticas ambientales y procesos de producción más limpia.

6. RECOMENDACIONES

- Durante el planeamiento de la obra, solicitar listas de materiales, que contengan las hojas de seguridad de los materiales para determinar la disposición final más oportuna de algunos materiales en específico, como disolventes.
- Utilizar listas de chequeo de materiales, para realimentar la manipulación en el proceso constructivo.
- Designar un espacio para el manejo de los residuos que no esté alejado del sitio de la obra, en donde los constructores puedan llevar y clasificar los residuos.

- Los materiales de construcción deben calcularse lo más cercanos a la cantidad real a necesitar. Si se establece un porcentaje adicional por desperdicio, este material no deberá ser mayor al 8%, principalmente en materiales como el concreto, cuyo residuo si no se planifica es difícil de disponer, lo mismo que aquellos materiales que pueden generar grandes cantidades de desechos.
- Vaciar los recipientes con los residuos, periódicamente cuando sea necesario, en un contenedor más grande dentro de la construcción, antes que se llenen los recipientes en el área constructiva.
- Los residuos deben ser colocados en contenedores calculados de acuerdo al tipo y cantidad de desecho.
- Rotular adecuadamente los recipientes con posibles materiales que se puedan depositar, y añadir nombres de los residuos que se estén generando diariamente, para así permitir un uso más sencillo de los receptáculos, por parte de las personas en la construcción de la obra.
- En caso de residuos no convencionales, estos deben depositarse en contenedores especiales, manteniendo los mismos rotulados y divididos en compartimentos a evitar que se mezclen. En el caso del módulo Trópika, se implementó la estrategia de poner un recipiente para materiales con el nombre de “otros” y que a lo interno de éste se podían separar residuos especiales, y se debe cuidar de mantener bien rotulados los compartimentos internos para la adecuada clasificación.
- Se recomienda utilizar en las actividades formularios de registro de materiales y mano de obra que los emplea, para detallar los desperdicios por cada actividad.
- Utilizar planos de taller para la reducción de residuos en la obra, e importante que en el sitio de construcción hayan personas que los sepan interpretar.
- El proceso constructivo debe contemplar la prevención de realizar residuos en el sitio.
- El espacio para la disposición temporal en obra debe planificarse en el diseño temporal de las obras y deberá estar ubicado cerca del lugar de generación. El tamaño y cantidad de espacios dependerá del volumen y tamaño de la obra. Se deben ubicar al menos dos posibles sitios de disposición final adecuada de los desechos cerca, y contemplar la facilidad de transporte.
- Reutilizar en la obra la mayor cantidad de residuos aprovechables.

- Hacer de conocimiento en el sitio de construcción los cambios en el Plan de Manejo de Residuos Sólidos, incluyendo así los materiales que se cambian. Esto imprimiendo y colocando el PMRS en el sitio de la construcción, anotar los cambios en materiales en la impresión y si son muy significativos hacer una reimpresión para actualizar a los trabajadores.
- Nombrar a un responsable ambiental disponible en el tiempo de ejecución de la obra, este puede ser alternado entre dos personas que se reparten los turnos de trabajo. Pero que en todo momento de ejecución de la obra se tenga a una persona encargada de la responsabilidad ambiental.
- Poner a trabajar a los integrantes de la cuadrilla en los tiempos muertos en labores de recolección de residuos y clasificación, para que valoren el tiempo que se invirtió en esto y luego tomen consciencia de no dejar residuos mal colocados en el sitio de trabajo.
- Influir en más estudiantes a que trabajen en el manejo de residuos de la construcción y que propongan tratamientos adecuados a materiales específicos como el P3, lijas, por citar algunos nombres. Ya que estos pueden tener más opciones de reutilización pero se requiere saber el tratamiento que deba de brindarse a través de personas más familiarizadas con el uso de esos materiales.
- Establecer compromisos ambientales en las construcciones, y que estos sean de conocimiento tanto del cliente, contratistas y todos los involucrados en la obra; Para la vigilancia de cumplimiento de estos compromisos.
- Motivar a las instancias políticas a que brinden incentivos y galardones a constructoras que certifiquen que están cumpliendo sus compromisos ambientales en la construcción. Así como darle más difusión al premio de construcción sostenible de la Cámara Costarricense de la Construcción.
- Involucrar a las instituciones educativas a que trabajen más el tema de conciencia del manejo de los residuos, y formular en conjunto con instituciones como los colegios técnicos y el INA talleres, cursos y foros del tema de manejo de residuos en la construcción.

7. REFERENCIAS

- Abarca, L. (2014). *A Construction Waste Generation Model for Developing Countries*. Department of the Built Environment. Eindhoven, Holland.: Eindhoven University of Technology.
- Abdelhamid, M. S. (2014). Assessment of different construction and demolition waste management approaches. *HBRC Journal*.
- Agudelo, M., & Rodríguez, J. (2013). *Estimación de generación y composición de residuos de construcción en la ciudad de Villavicencio*. V Congreso Internacional de Ingeniería Civil., Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá., Colombia.
- Araya, M. (30 de octubre de 2014). Consulta de generación de residuos de concreto en proyectos habitacionales. (D. Vega, Entrevistador)
- Araya, J. (2007). *"Construcción Sostenible en edificaciones: Elaboración de una manual de procedimientos constructivos sostenibles."*. Tesis de Licenciatura, UCR, San José, Costa Rica.
- Begum, R. A., Siwar, C., Pereira, J. J., & Jaafar, A. H. (2009). Attitude and behavioral factors in waste management in the construction industry of Malaysia. *Resources, Conservation and Recycling*, 53(6), 321–328.
- CFIA, (2014). *Estadísticas de la construcción: Informe primer semestre 2014 e informe anual 2013*. San José, Costa Rica. Recuperado el 16 de Octubre de 2014, de CFIA <http://www.cfia.or.cr/estadisticas.htm>.
- CFIA, INTECO, & IAT. (2012). *RESET:Requisitos para Edificaciones Sostenibles en el Trópico*. INTE 06-12-01:2012 (Vol. Primero). San José, Costa Rica.
- Chang, H. (2010). El modelo de la triple hélice como un medio para la vinculación entre la Universidad y la empresa. *Revista Nacional de Administración*, 1(1), 89-95. UNED, Costa Rica.
- EPA. (22 de 11 de 2013). *U.S. Environmental Protection Agency*. Recuperado de U.S. Environmental Protection Agency: <http://www.epa.gov/solidwaste/nonhaz/municipal/hierarchy.htm>
- Garas, G. (2003). *Estimating Material Waste in the Building Construction Industry Using Artificial Intelligence*. Egypt.: Cairo University.
- Gobierno de Costa Rica. (2010). *Ley 8839: Ley para la Gestión Integral de Residuos*. San José: Gobierno de Costa Rica.

- Granados Solís, A. (2013). *Décimonoveno Informe del Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible: "Carbono Neutralidad: Avances y desafíos de cara al año 2021"*. San José, Costa Rica.: Programa Estado de la Nación.
- ISWA. (2002). *Waste Management. Industry as partner for sustainable development*. United Kingdom: International Solid Waste Association (ISWA).
- Jiménez, J. (mayo de 2014). Consulta de disposición final de algunos residuos recibidos en el MADI. (D. Vega, Entrevistador) Cartago, Costa Rica.
- Koch, J. e. (2010). *Project Administration for Design-Build Contract*. American Society of Civil Engineers (ASCE). .
- Leandro, A. G. (2007). *Administración y manejo de los desechos en proyectos de construcción. Etapa 2: Alternativas de Manejo*. ITCR, Escuela de Ingeniería en Construcción. Cartago: Editorial Tecnológica.
- Li, Z., Shen, G. Q., & Alshaw, M. (2014). Measuring the impact of prefabrication on construction waste reduction: An empirical study in China. *Resources, Conservation and Recycling*, 91, 27–39.
- McGarth, C., & Anderson , M. (2000). Waste minimization on a construction site: digest. *Building Research Establishment.*, 447.
- Méndez, A. (2009). *"Elaboración de una guía de procedimientos constructivos sostenibles en edificaciones nacionales, con áreas mayores a 1000m2"*. Tesis de licenciatura, Escuela de Ingeniería Civil, UCR, San José, Costa Rica.
- MINAET. (2009). *Estrategia Nacional de Cambio Climático*. Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones. San José, Costa Rica: Editorial Calderón y Alvarado S. A.
- Muñoz, E. (2011). *"Residuos sólidos del proceso de construcción de viviendas en Chile: Cuantificación, caracterización y establecimiento de indicadores."*. Chile.
- National Institute of Building Sciences. (2014). *Whole Building Design Guide*. Recuperado el 19 de October de 2014, de WBDG: <http://www.wbdg.org/design/greenspec.php>
- Nugroho, A. e. (april de 2013). Measurement of the Construction Waste Volume Based on Digital Images. *International Journal of Civil and Environmental Engineering*, 13(2), 41.
- ONU. (2007). *United Nations World Economic Social Survey 2007: Development in an aging World*. New York : United Nations World.

- OSHA. (2014). *Occupational Safety and Health Administration*. (US Department of labor, Ed.) Recuperado el 20 de noviembre de 2014, de Occupational Safety and Health Administration: <https://www.osha.gov/as/opa/spanish/index.html>
- Poveda, M. (2008). *Evaluación de la prefactibilidad técnica y financiera de reutilizar los residuos de construcción como agregados para concreto*. Tesis de licenciatura, Escuela de Ingeniería Civil, UCR, San José, Costa Rica.
- PRESOL, P. (2007). *Plan de residuos sólidos Costa Rica: Diagnósticos y áreas prioritarias*. San José, Costa Rica.: Programa CYMA.
- Quirós, A. (2011). “Construcción Sostenible es Construcción Responsable”. (GBCCR, Ed.) *“Construir Sostenible”*, 1.
- Robles, A., & Rodríguez, M. (2008). *¿Quiénes son y dónde están los adultos mayores?. I Informe del Estado de la situación de la persona Adulta mayor en Costa Rica*. San José, Costa Rica: CONAPAM/UCR.
- Salazar, E., & Tames, N. (2014). *Trópika: Propuesta habitacional para la población adulta mayor*. Tesis de grado, Escuela de Arquitectura, ITCR, San José, Costa Rica.
- Segura, G. (2012). *“Cuantificación del impacto del uso de planos de taller para reducir el costo, tiempo y desperdicio en obras de construcción.”* . Tesis de licenciatura, Escuela de Ingeniería Civil, UCR, San José, Costa Rica.
- Solano, S. (2014). *Metodología de medición de huella de carbono para edificaciones en el contexto nacional y su aplicación en el módulo habitacional trópika*. Tesis de Maestría, Área Académica Agroforestal, ITCR, Cartago, Costa Rica.
- Solar Decathlon Europe, & République française. (16 de noviembre de 2014). *Solar Decathlon Europe*. Obtenido de Solar Versailles: <http://www.solardecathlon2014.fr/en/competition>
- Soto, S. (2011). *Residuos Sólidos. Ponencia del Decimoséptimo Informe Estado de la Nación*. . San José, Costa Rica.: Programa Estado de la Nación.
- Soto, S. (2012). *Ponencia del Decimo Octavo Informe Estado de la Nación: Implementación de la Ley GIRS*. San José, Costa Rica.: Programa Estado de la Nación.
- TEC Team. (2014). *Project Manual #5, Report SDE-14*. Cartago, Costa Rica.
- Tuk, J. (16 de octubre de 2014). Consulta de generación de residuos en casa de madera modulares. (D. Vega, Entrevistador)
- U.S. Green Building Council. (2012-2014). *USGBC.org*. (U. G. Council, Editor) Recuperado el 10 de octubre de 2014, de <https://www.usgbc.org/leedonline.new/>

- UICN. (2011). “*Guía de manejo de escombros y otros residuos de la construcción*”. . San José, Costa Rica.: UICN.
- US Department of Energy. (3 de junio de 2014). *US Department of Energy Solar Decathlon*. Recuperado el 15 de october de 2014, de US Department of Energy Solar Decathlon: <http://www.solardecathlon.gov/>
- USGBC. (2009). *LEED: Homes Reference Guide* (Second Edition). Washington, USA.
- Villalobos, A. (1995). *Estudio de Generación de Desechos en la Construcción de Viviendas de Mamposteria*. San José, C.R.: UCR.
- Villoria Saez, P., del Río Merino, M., San-Antonio González, A., & Porras-Amores, C. (2013). Best practice measures assessment for construction and demolition waste management in building constructions. *Resources, Conservation and Recycling*, 75, 52–62.
- Wang, J., Li, Z., & Tam, V. W. Y. (2014). Critical factors in effective construction waste minimization at the design stage: A Shenzhen case study, China. *Resources, Conservation and Recycling*, 82, 1–7.
- Yuan, H. (2013a). A SWOT analysis of successful construction waste management. *Journal of Cleaner Production*, 39, 1–8.
- Yuan, H. (2013b). Key indicators for assessing the effectiveness of waste management in construction projects. *Ecological Indicators*, 24, 476–484.

APÉNDICES

Apéndice 1. Plan de manejo de residuos para la construcción del módulo de Trópika

Resumen:

El presente informe es el Plan de Manejo de los Residuos Sólidos para la construcción de la casa modelo de Trópika, para la Competencia *Solar Decathlon 2014* de la propuesta del TEC Team.

Este Plan de Manejo de Residuos Sólidos es por la necesidad de reducción de residuos generados en la casa y un adecuado manejo en la disposición de los desechos. Lo primordial es aplicar la jerarquización de residuos en el proceso de construcción de la casa.

Dentro de las generalidades la planificación del tipo de residuos que se pueden generar de acuerdo con los materiales a emplearse en la construcción. Este plan debe de cumplirse tanto en la etapa de recepción de materiales para la construcción (preconstrucción) y construcción del módulo de la casa, así como una posible construcción a escala.

La inspección y documentación de los residuos generados y tratados estará a cargo de la vigilancia de dos personas, esto principalmente en la etapa constructiva. Esto se hará a través de chequeo de recipientes y de la caracterización de los residuos.

Sinergias y formas de compensación:

Las principales sinergias son con el CTTM y los proveedores de los materiales principales. Los proveedores para la aplicación de la responsabilidad extendida del productor, que se contempla en la ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Y el CTTM como colaborador para dar tratamiento y disposición adecuada a los residuos.

Estrategias para reducir los residuos:

La modulación es la principal estrategia para reducir los residuos en el sitio de construcción. Además de los principios de reducción en la fuente y la compra de los materiales menos contaminantes de acuerdo a su ciclo de vida.

El diseño del módulo pretende que componentes de la edificación sean desmantelados, para así permitir el reciclaje y reutilización de la casa en una eventual nueva construcción. Además de prever que se hagan cortes en dimensiones que el pequeño residuo no se pueda utilizar.

La reutilización de residuos dentro de la construcción se tiene en el uso de maderas para el piso es de un producto del cual tiene un alto porcentaje de reciclaje de maderas distintas, para así en la empresa generar menos desperdicios. Además, el tipo de materia prima que se usa para el fibrocemento de las paredes de plydeck se puede reutilizar residuos del mismo material para su fabricación.

Fase de construcción

En la etapa constructiva se prevé que no se tengan residuos en esta etapa debido a que se va a llevar los materiales para montar la casa. Sin embargo, se tiene que en la parte de domótica y de instalaciones tanto sanitarias como eléctricas. Se van a generar pequeños residuos de tuberías de PVC, cables que contienen metales y aleaciones, piezas de la estructura. Pero estos pocos residuos generados se ha previsto el uso de materiales poco contaminantes, que se puedan reutilizar tanto dentro de la casa como para en el edificio, de no poder aplicarse esto se coordinará con los proveedores para aplicar el principio de Responsabilidad extendida del productor que contempla la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos.

Para la separación y almacenamiento en el sitio de los residuos que se van generando, se acondicionarán los siguientes recipientes para residuos del cuadro 1. Estos deben de quedar al final del día tapados, y la forma de usarlos es procurando que los materiales depositados estén limpios y secos.

Cuadro 1. Recipiente según los materiales por acopiar.

Recipiente	Tipo de material	Estado
Aislante	Rookwool o prodex.	Limpio y seco
Madera	Teca, pino, pejibaye, melina, balsa.	Seca
Plástico	Todos los tipos de plásticos	Limpio y seco
Cartón y papel	Hojas, empaques de cartón	Limpio y seco
Metal	Acero, hierro galvanizado, tornillos dañados, cables.	Limpio y seco
Peligroso	Sustancias químicas, equipo de seguridad usado.	En otro recipiente etiquetado
Otros	Otros materiales generados en el sitio	Separado por bolsas

De acuerdo con certificación de sostenibilidad LEED, se opta por desviar un 50%-75% de residuos que usualmente se enviarían al relleno sanitario, de los que se documentará su reducción de acuerdo al peso seco de los materiales. Es recomendable seguir el proceso del cuadro 2.

Cuadro 2. Proceso de manipulación de residuos según etapa (Fuente: propia.).

Etapa	Proceso
Recepción de residuos	Se recogerán los residuos al momento de ser generados, esto debido a que los encargados de la construcción contarán con las instrucciones del manejo adecuado de los residuos.
Cuarteo y clasificación	Se tomará una pequeña muestra para realizar el cuarteo y determinar la composición de los residuos porcentual. Así como el pesaje y dimensionamiento de los materiales para documentación.
Separación	Se separan los residuos en las baterías adecuadamente identificadas.
Revalorización	Se busca darle una nueva utilidad a los residuos ya generados, ya sea con la misma funcionalidad anterior u otra.
Acopio	En el sitio se cuenta con una zona de acopio de materiales para su almacenamiento. Este será de forma que se pueda aprovechar de mejor manera el espacio, por lo que los residuos de materiales estarán bien compilados.
Tratamiento	Se elige que materiales se deben reprocesar, cuales necesitan cambios físicos o inclusive un proceso de mayor transformación de su apariencia.
Disposición final	Se reconocerán los materiales a los que se va a disponer in situ y los que requieren transportarse. Esta será de distintas formas de acuerdo al residuo de material en específico.

Para los principales materiales que se esperan generar residuos, se ha previsto su posible tratamiento y disposición final.

Cartón y Papel

Manejo: Disposición en el contenedor de la batería.

Empresa encargada: CTTM

Materiales admitidos: Que se encuentren limpios los materiales de papel seco, cartón seco, revistas, sacos de cemento, empaques de papel y cartón seco.

Disposición final: Reciclaje

Escombros

Manejo: Disposición en el contenedor asignado

Empresa encargada: CTTM.

Materiales: escombros

Disposición: Material de relleno.

Metal

Manejo: Reutilización y reciclaje, exportación.

Empresa encargada: CTTM

Materiales: Hierro, acero, aluminio, cobre, chatarra.

Disposición final: Reciclaje.

Madera

Disposición: Desfibrado, uso como combustible, reproceso en empresa.

Manejo: Disposición bodega especial.

Empresa encargada: Xilo, TEC.

Disposición: Reciclaje

Material peligroso

Manejo: Disposición en el contenedor aparte.

Empresa encargada: CTTM y co-procesamiento.

Materiales: sustancias químicas, equipo de seguridad.

Disposición: Tratamiento especial de acuerdo al desecho.

Plástico

Manejo: Disposición en el contenedor asignado en la batería

Empresa encargada: CTTM.

Materiales: Plásticos reciclables.

Aislante

Manejo: Disposición en el contenedor aparte.

Empresa encargada: co-procesamiento o Relleno Sanitario.

Materiales: rockwool, prodex u otro aislante.

Disposición: Tratamiento especial de acuerdo al desecho.

Residuos Electrónicos

Manejo: Disposición en el contenedor asignado en la batería

Empresa encargada: CTTM.

Materiales: Línea blanca, gris y marrón.

Disposición: Reutilización de piezas y exportación.

Documentación

Para la documentación se llevarán registros de las principales actividades para el cumplimiento del presente Plan de Manejo de Residuos:

- Realizar registro de evidencias del uso de las baterías.
- Documentación de cantidades de residuos que se generan.
- Documentación de disposición final de los residuos.
- Documentación de residuos que se evitó enviar al relleno sanitario.

Uso del proyecto y mantenimiento

El uso y mantenimiento es para la competencia e instalación definitiva de la casa. Sin embargo, de darse la construcción del proyecto a mayor escala los principios son los mismos, únicamente que reubicando a otro sitio que se preverá en la distribución del sitio constructivo.

Referencias:

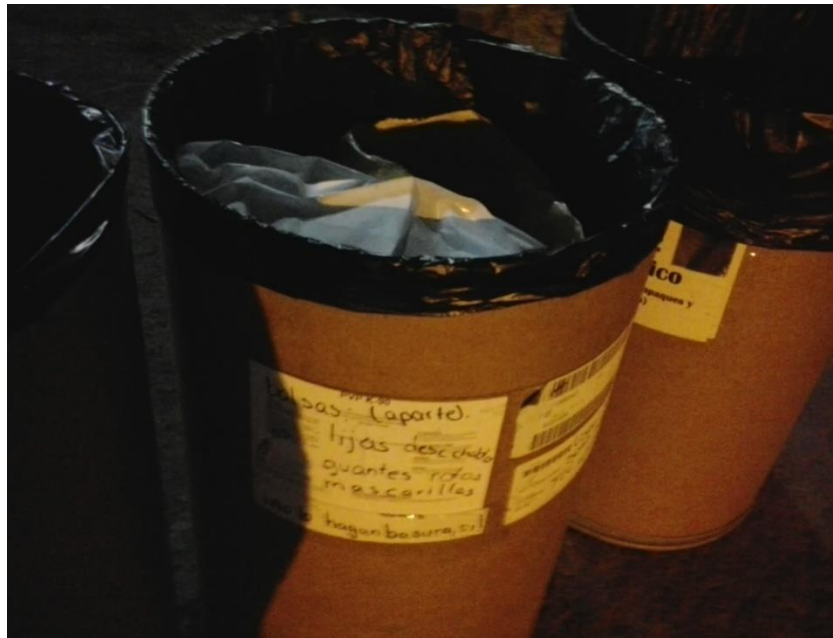
- Asamblea Legislativa, República de Costa Rica. (13 de Julio de 2010). Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Nº 8839. San José, Costa Rica.
- Asamblea Legislativa, República de Costa Rica. (16 de Agosto de 2010). Reglamento sobre el manejo de residuos ordinarios. Decreto Ejecutivo No. 36093-S. San José, Costa Rica.
- LEED, 2009. Homes References Guide. Green Building Council. 354p.
- Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones (2009).Estrategia Nacional de Cambio Climático. 1 ed. San José, CR: Editorial Calderón y Alvarado S. A. 109 p
- Ministerio de Salud (2010).Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos 2010-2021. 1era ed. San José, Costa Rica. 52 p.
- Salas, J. Consulta oral junio de 2013. Escuela de Química, ITCR.
- Tuk, J. Consulta oral el 24 de junio de 2013. Empresa Xilo. Cartago, Costa Rica.

ANEXOS

Anexo 1. Registro fotográfico.



Fotografía 1. Estudiante trabajando en la recuperación de residuos durante tiempos muertos de la construcción
Fuente: Propia.



Fotografía 2. Recipiente para residuos varios llamado "otros" en el sitio de la construcción.
Fuente: Propia.



Fotografía 3. Recipiente para residuos de madera en el sitio de la construcción
Fuente: Propia.



Fotografía 3. Residuos indirectos por actividades distintas a la construcción del módulo.
Fuente: Propia.



Fotografía 4. Recipiente para basura en el sitio de la construcción convencional
Fuente: Propia.



Fotografía 5. Pesaje de residuos en el CIVCO.
Fuente: Propia.

Comparación de sitios de construcción respecto al manejo de residuos.



Fotografía 6. Manejo de residuos en el sitio de la construcción Trópika
Fuente: Propia.



Fotografía 7. Manejo de residuos en el sitio de la construcción comparativa en Tres Ríos
Fuente: Propia.

Anexo 2. Distribución del sitio del proyecto trópika

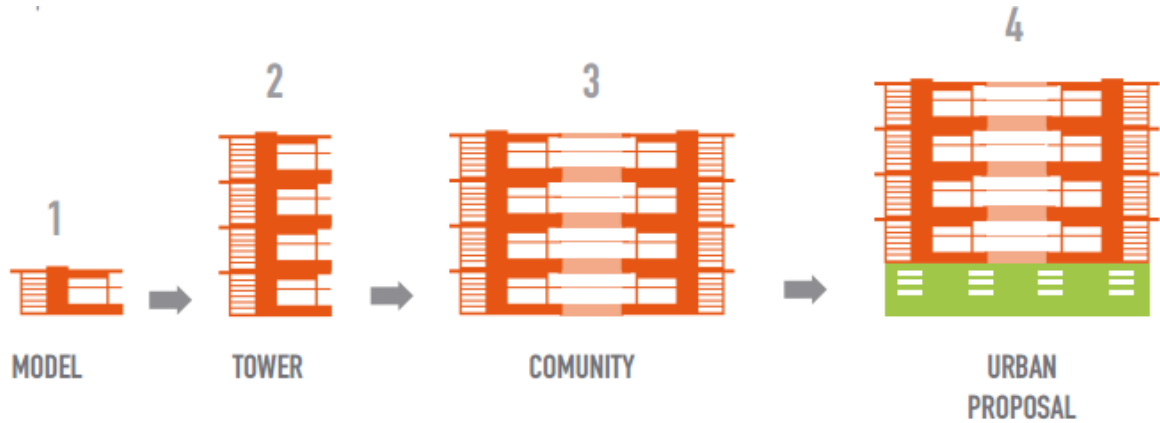


Figura 1. Propuesta del proyecto trópika. (Tomado de TEC TEAM, 2014).



Figura 2. Vista arquitectónica del módulo trópika. (Tomado de TEC TEAM, 2014).



Figura 3. Distribución del sitio del proyecto trópika.
Fuente: Salazar et al. 2014